

Bachelorarbeit

Im Studiengang:

Verkehrswesen (Luft- und Raumfahrttechnik)

Bewertung und Optimierung des Gestensteuerungskonzeptes und Entwurf eines Farbschemas für einen ausgewählten multimodalen Lotsenarbeitsplatz

vorgelegt von:

Lino Valentino Julius Alessandro Lindner

Pröhleweg 3

14089 Berlin

Matrikel-Nr.: 339671

Betreuer:

Dipl.-Ing. Ferdinand Behrend (TU Berlin)

Dipl.-Ing. Karsten Straube (DLR)

Abgabetermin: 15.05.2016

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich die vorliegende Arbeit selbständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt zu haben.

Ort, Datum

(Lino Valentino Julius Alessandro Lindner)
Unterschrift

Kurzfassung

Durch die steigende Anzahl an Flugbewegungen wird die Arbeit der Fluglotsen komplexer und anspruchsvoller. Um die Sicherheit und Effizienz zu gewährleisten, wird an neuen Fluglotsenarbeitsplätzen geforscht. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Multitouch-Schnittstelle des multimodalen Fluglotsenarbeitsplatzes im Projekt „MApControl“, nach ergonomischen Gesichtspunkten, zu bewerten und gegebenenfalls Optimierungsansätze zu entwickeln. Nach einer theoretischen Einführung in das Thema wird das aktuell bestehende System vorgestellt. Um das System an die menschlichen Bedürfnisse anzupassen, werden anhand einer Benutzerstudie die Stärken und Schwächen des Multitouch-Interface und des zugehörigen Farbschemas analysiert und Verbesserungsansätze abgeleitet.

Abstract

Based on the increasing number of flight movements the work of an air traffic controller becomes more complex and sophisticated. To guarantee the safety and efficiency in air traffic management there is a research for new air traffic controller workstations. The aim of this study is to evaluate and optimize the ergonomic design of the multitouch interface which is part of the multimodal air traffic controller workstation „MApControl“. The first part gives a short theoretical overview of the topic. The thesis then describes the current gesture set and color setting of the interface. To adjust the system optimal for the requirements of human a user study will be executed to detect the advantages and disadvantages of the multitouch interface. The knowledge will be used for identifying recommendations for improvement.

Vorwort

Die vorliegende Bachelorarbeit entstand im Rahmen meines Studiums an der Technischen Universität Berlin, in Kooperation mit den Abteilungen Lotsenassistenz und Systemergonomie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig. Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Bearbeitung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Speziell gilt mein Dank Dipl.-Ing. Karsten Straube für die hilfreichen Tipps und die kompetente Betreuung, seitens des DLR, sowie Dipl.-Ing. Ferdinand Behrend, als Betreuer vonseiten der Technischen Universität Berlin, für das entgegengebrachte Interesse an dem Thema und die Unterstützung.

Außerdem bedanke ich mich bei Dipl.-Inform. Maria Uebbing-Rumke und Malte-Levin Jauer für die tatkräftige Unterstützung und geduldige Beantwortung meiner Fragen. Allen anderen Kollegen der Abteilung danke ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie für die jahrelange Unterstützung und Motivation während des Studiums und der Bachelorarbeit.

Lino Lindner

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
1. EINFÜHRUNG	1
2. THEORIE	3
2.1 Mensch-Maschinen-Interaktion	3
2.1.1 Das System aus Mensch und Maschine	3
2.1.2 Begriff der Interaktion	4
2.1.3 Systemergonomie	4
2.2 Flugsicherung	5
2.2.1 Approach Control (Anflugkontrolle) und Feeder	6
2.3 Multi-Touch und Gestensteuerung	9
2.3.1 Multi-Touch Technologie	9
2.3.2 Gesten	11
2.4 Visuelles System und Farbschema	13
2.4.1 Visuelles System	13
2.4.2 Farben	14
2.4.3 Gestaltungskriterien	17
3. IST-ANALYSE	18
3.1 Vorheriges Konzept	18
3.2. Aktuelles Konzept	18
3.2.1 Allgemeiner Ablauf einer Eingabe	19
3.2.2 Implementierte Gesten und Beschreibung der Benutzeroberfläche	21
4. BENUTZERSTUDIE ZUR GESTENSTEUERUNG DES MULTI-TOUCH-HMI	27
4.1 Aufbau des Versuchs	27
4.2 Ablauf des Versuchs	28
4.3 Auswertung des Versuchs	29
4.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse	33
5. VERBESSERUNGSANSÄTZE FÜR DIE GESTENSTEUERUNG	34
6. ENTWICKLUNG EINES GEEIGNETEN FARBSCHEMAS	38
6.1 Aktuelles Farbschema des Radarbildschirms	38
6.2 Farbschema des Multi-Touch-Interface	39
6.3 Visuelles Feedback auf dem Radarbildschirm	41
7. VALIDIERUNG DES FARBSCHEMAS	43
7.1 Aufbau und Ablauf des Versuchs	43
7.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	43
8. SCHLUSSWORT	45
8.1 Ausblick	45
ANHANG A	49
ANHANG B	63
ANHANG C	66
ANHANG D	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfache Darstellung eines Mensch-Maschine-Systems (eigene Darstellung)	3
Abbildung 2: Struktur der Flugverkehrskontrolle [Klußmann, Malik 2012, S.20]	5
Abbildung 3: Transition Flughafen Berlin Tegel [Jeppesen (Hg.)]	6
Abbildung 4: Arbeitsplatz der Anflugkontrolle "Langen (Frankfurt) Approach" [Mensen 2014, S.391]	7
Abbildung 5: Label im Radarbildschirm [DFS 2013]	7
Abbildung 6: Kontrollstreifen [Mensen 2014, S.382]	9
Abbildung 7: Aufbau eines projektiv-kapazitiven Multi-Touch Screens [Spath, et al. 2010, S.11]	10
Abbildung 8: Aufbau eines Infrarot Touchscreen [Geyssel 2011]	11
Abbildung 9: Klassifizierung von Hand- und Armgesten nach Pavlovic [Pavlovic, Sharma, Huang o.J.]	12
Abbildung 10: Zusammenfassung häufig verwendeter Gesten [Preim, Dachzelt 2015]	13
Abbildung 11: Farbkodierung in verschiedenen Normen (Zühlke, 2012)	15
Abbildung 12: Farbspektrum des menschlichen Auges [BCM]	16
Abbildung 13: Die empfohlenen sechs Farben für ATC-Displays und ihre RGB-Zusammensetzung (eigene Darstellung)	17
Abbildung 14: Wacom Cintiq 13HD Touch [wacom b]	19
Abbildung 15: Ablauf einer Eingabe am multimodalen Lotsenarbeitsplatz (eigene Darstellung)	20
Abbildung 16: Geste für die Auswahl eines Flugzeugs (eigene Darstellung) und Screenshot der Flugzeugliste (rechts) [Jauer 2015a]	21
Abbildung 17: Screenshot für die Bestätigung einer Eingabe	22
Abbildung 18: Screenshot der Darstellung des "Rocker Ring" auf dem Radarbildschirm	22
Abbildung 19: Geste für die Speed-Anweisung (eigene Darstellung)	23
Abbildung 20: Screenshot des Geschwindigkeits-Reglers	23
Abbildung 21: Geste für Altitude-Anweisung (eigene Darstellung)	24
Abbildung 22: Geste für Heading-Anweisung (eigene Darstellung)	24
Abbildung 23: Geste für Direct-to-Waypoint (eigene Darstellung) und Darstellung der visuellen Umsetzung [Jauer 2015a]	25
Abbildung 24: Geste um den Abstand zwischen Flugzeugen zu messen (eigene Darstellung) und Screenshot der grafischen Darstellung	26
Abbildung 25: Geste um Eingaben zu löschen (eigene Darstellung)	26
Abbildung 26: Screenshot der Liste mit zusätzlichen Anweisungen	27
Abbildung 27: Versuchsaufbau (eigene Darstellung)	28
Abbildung 28: Auswertung der Benutzerstudie: Bewertung der bereits implementierten Gesten	30
Abbildung 29: Auswertung der Benutzerstudie: Welche Anweisungen sollten als Geste implementiert werden?	31
Abbildung 30: Auswertung der Benutzerstudie: Gestenkonzepte	32
Abbildung 31: Konzept für eine alternative Geste für die Heading-Anweisung (eigene Darstellung)	34
Abbildung 32: Konzept für eine mögliche Geste um die Label zu verschieben (eigene Darstellung)	36
Abbildung 33: Farbschema des Radarbildschirms (eigene Darstellung)	39
Abbildung 34: Farbschemakonzept für das Multi-Touch-Interface	39
Abbildung 35: Visuelle Ausgabe der Lotseneingabe auf dem Radarbildschirm (oben aktuelle Version, unten Konzeptvorschlag) (eigene Darstellung)	41
Abbildung 36: Grafische Darstellung der Versuchsdaten: Durchschnittliche Reaktionszeit aller Probanden	44
Abbildung 37: Grafische Darstellung der Versuchsdaten: Durchschnittliche Reaktionszeit der einzelnen Probanden	44

1. Einführung

„Flugsicherung dient der sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Luftverkehrs.“
[Deu12]

Diese Aufgaben werden mit steigenden Verkehrszahlen zunehmend komplexer und anspruchsvoller. Im Jahr 2014 wurden in Deutschland 2,98 Millionen [DFS 2014] Flugbewegungen von der Deutschen Flugsicherung koordiniert und überwacht. Das Statistische Bundesamt registrierte von Januar bis August 2015 675.029 [StBA 2015a, S.11] Landungen auf den Hauptverkehrsflughäfen in Deutschland.

Um auch zukünftig den Flugverkehr nach oben genannten Kriterien zu gewährleisten beschäftigt sich die Forschung mit der Flugsicherung und dem Arbeitsumfeld der Fluglotsen, um diese in ihrem Arbeitsprozess zu unterstützen und Fehlerquellen zu minimieren.

Das Forschungsprojekt „MApControl“, in der Abteilung Lotsenassistenz des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) Braunschweig beschäftigt sich mit dem Themengebiet des multimodalen Lotsenarbeitsplatzes. Das Ziel des neuartigen Konzepts, welches speziell für den Arbeitsplatz eines Feeder Lotsen (siehe 2.2.1) ausgelegt wurde, ist es, den Lotsen zu entlasten ohne in seinen Arbeitsprozess weitgehend einzugreifen. Dies geschieht über eine Spracherkennung, welche die verbale Anweisung des Lotsen an den Piloten erkennt und auf das „air traffic control system“ überträgt. Dies wird optisch auf dem Radarbildschirm ausgegeben, sodass die Anweisungen kontrolliert und nachvollzogen werden können. Für den Fall einer fehlerhaften Erkennung der Anweisung, eines Systemfehlers der Spracherkennung und allgemein als weitere Interaktionsmöglichkeit mit dem System, steht ein Multi-Touch-Interface zur Verfügung. Über dieses soll ermöglicht werden, dass Kommandos wie Höhe und Geschwindigkeit, durch Gesten auf der Touch-Oberfläche eingegeben werden können.

Sandra Ciupka von der Deutschen Flugsicherung schrieb 2013:

„Ein benutzerfreundliches Arbeitsumfeld ist entscheidend für die Sicherheit und die Effektivität der Leistung. Beides ist nur gegeben, wenn der Fluglotse die verschiedenen dargestellten Hinweise am Bildschirm gut lesen und unterscheiden kann. [...] Eingaben müssen so erfolgen können, dass der Fluglotse nicht von der Beobachtung des Luftverkehrs abgelenkt wird. Wenn alle Bedingungen stimmen, ist dies ein wichtiger Beitrag zur Sicherheit und zur Performance.“ [Ciupka 2013]

Hinsichtlich dieser Aspekte ist das Ziel dieser Bachelorarbeit, das genannte Multi-Touch-Interface in seiner Funktionsweise zu untersuchen und zu optimieren.

Bereits bestehende Gesten müssen auf ihre Eignung untersucht werden und durch ein schlüssiges Konzept an Gesten erweitert werden. Hierbei ist zu beachten, dass diese möglichst intuitiv sind, damit sie den Lotsen bei der Arbeit unterstützen und keineswegs einen großen Teil seiner Aufmerksamkeit beanspruchen. Das Interface ist so zu gestalten, dass die Head-down Zeit so gering wie möglich ist und das Hauptaugenmerk des Lotsen, sowie seine

Konzentration permanent auf den Radarbildschirm fokussiert bleiben kann. Hierfür muss die Bedienoberfläche übersichtlich und funktionell ausgelegt werden und durch ein geeignetes Farbschema unterstützt werden. Dies gilt es ebenfalls zu überprüfen und zu optimieren. Abschließend bleibt zu klären ob und in welchem Ausmaß dieses Konzept einen Mehrwert für den Fluglotsen darstellt.

2. Theorie

2.1 Mensch-Maschinen-Interaktion

Seit Ende des 18. Jahrhunderts und mit Einsetzen der Industrialisierung ist die Anzahl der Maschinen stetig gestiegen. In allen Lebensbereichen unterstützen sie den Menschen oder arbeiten gar eigenständig. Da die Einsatzmöglichkeiten und die Komplexität der Maschinen im Laufe der Zeit ständig gestiegen sind, rückte die Interaktion des Menschen mit der Maschine in den Fokus der Forschung und Entwicklung. Zur Gestaltung eines Systems wird, neben der technischen Komponente, auch der Mensch hinsichtlich physischer und psychischer Stärken und Schwächen betrachtet, um die Maschine ideal auf den Menschen abzustimmen. Dies bekommt eine besondere Bedeutung bei Arbeiten die eine hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit erfordern, wie es bei Fluglotsen der Fall ist.

2.1.1 Das System aus Mensch und Maschine

Ein Mensch-Maschinen-System (MMS) wird definiert durch das Zusammenwirken von Mensch und Maschine, um eine selbst gewählte oder fremd gestellte Aufgabe zu lösen. [Vgl. Timpe (Hg.), Jürgensohn, Kolrep 2002, S.10] Diese Definition klingt trivial, beschreibt aber die wesentlichen Merkmale des MMS und zeigt gleichzeitig auf, worauf man bei der Auslegung achten muss. Wie in Abbildung 1 veranschaulicht ist, besteht eine zielgerichtete Interaktion zwischen mindestens einem Menschen und einer Maschine.

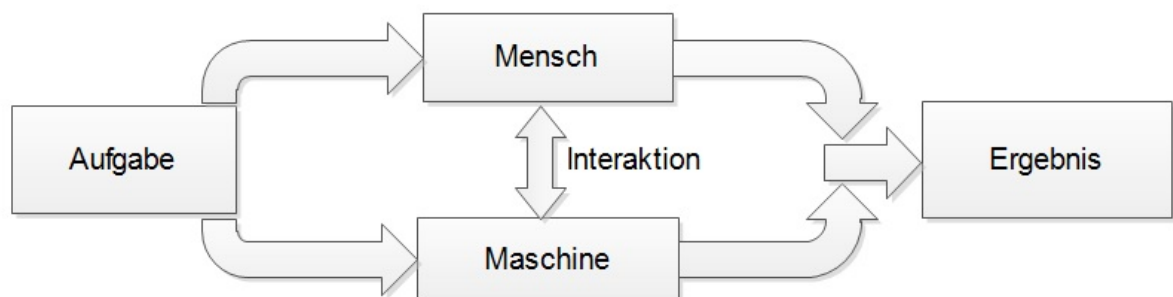


Abbildung 1: Einfache Darstellung eines Mensch-Maschine-Systems (eigene Darstellung)

Man benötigt also, für die Auslegung eines solchen Systems, Kenntnisse über die Aufgabenstellung bzw. Zielsetzung und den beiden Faktoren Mensch und Maschine. Der Mensch ist hierbei eine sehr komplexe Komponente, der hinsichtlich seiner Stärken in den Arbeitsprozess eingebunden wird und in Aufgaben, die von der Maschine besser bewältigt werden können, ergänzt wird.

Eine der meist verbreiteten MMS ist die Kombination aus Mensch und Computer. Nach Zahlen des Statistischen Bundesamtes werden in 92% der Unternehmen in Deutschland Computer verwendet [StBA 2015b]. Da es sich bei der Arbeit des Fluglotsen auch um eine Mensch-Computer-Interaktion handelt, wird im weiteren Kontext dieser Arbeit ausschließlich auf den Computer eingegangen.

2.1.2 Begriff der Interaktion

Interaktion beschreibt in der Sozialwissenschaft allgemein, die wechselseitige Beeinflussung zweier Individuen, in der Regel zwei Menschen. In dem Fall der Mensch-Computer-Interaktion tritt anstelle des einen Menschen ein Computer. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Kommunikation zwischen Mensch und Computer. Bei einer Interaktion zwischen Menschen können, im Idealfall, beide Individuen auf die gleichen Ressourcen für In- und Output (Sprache, Töne, Gestik, Mimik, Berührung, optische Signale) zurückgreifen. Sprechen nun beide eine andere Sprache, so ist die Kommunikation und damit die Interaktion bereits wesentlich beeinträchtigt. Wenn man diese Problematik auf die Mensch-Computer-Interaktion überträgt, muss man also gewährleisten, dass zwischen Mensch und Computer eine funktionierende Kommunikation stattfinden kann. Dies geschieht über Benutzerschnittstellen, oder auch sogenannte Human-Machine-Interfaces (HMI). Ein HMI sollte stets nach systemergonomischen Kriterien ausgelegt werden, um eine optimale Nutzung durch den Menschen zu ermöglichen.

2.1.3 Systemergonomie

Das Wort Ergonomie leitet sich aus dem Griechischen Wörtern *ergon* – Arbeit und *nomos* – Gesetz/Regel ab. Es beschreibt heutzutage eine Fachdisziplin der Wissenschaft, welche sich mit der menschlichen Arbeit befasst. International werden die Begriffe Ergonomie und Human Factors oft im selben Kontext verwendet [Vgl. Schmidt, Schlick 2008]. Die „International Organisation for Standardization“ definiert die Hauptziele einer ergonomischen Gestaltung in den zwei Punkten: „[...] das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren.“ [EN ISO 6385:2004]

Um das Wohlbefinden des Menschen zu steigern bedarf es einer Anpassung des Arbeitsplatzes an die physischen und psychischen Gegebenheiten des Menschen. Eine der wichtigsten Kriterien in diesem Zusammenhang ist die Gebrauchstauglichkeit bzw. Usability: „[Gebrauchstauglichkeit ist das] Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ [DIN EN ISO 9241-11]

2.2 Flugsicherung

Die Flugverkehrskontrolle im Englischen auch Air Traffic Control (ATC) wird seit 1993 in Deutschland von der Deutschen Flugsicherung (DFS) durchgeführt. Mit derzeit ca. 1900 Fluglotsen gewährleistet sie den reibungslosen, effizienten und sicheren Ablauf des Luftverkehrs. [Vgl. DFS 2015]






	Parkposition Terminal, Vorfeld	Rollweg (Rollbahn)	Start- und Landebahn	Nahverkehrsbereich (TMA, ca. 30-50 km um den Flughafen)	Kontrollbezirke mit Kontrollsektoren; eventuell oberer Luftraum
Dienst		 TWY	 RWY		
	Vorfeldkontrolle (Apron Control)	Rollkontrolle		An- und Abflugkontrolle (Approach Control, TRACON)	Bezirkskontrolle (Streckenkontrolle, En Route Control, Area Control) Für den oberen Luftraum: Upper Area Control
	Bodenkontrolle (Ground Control)				
	Platzkontrolle (Flugplatzkontrolle, Aerodrome Control ADC, Local Control)				
Ort	Tower (Kontrollturm) des Flughafens			Kontrollzentrum (Streckenkontrollzentrum) oder Tower (Kontrollturm) des Flughafens	Kontrollzentrum (Streckenkontrollzentrum) Für den oberen Luftraum: Upper Area Control Center
Lotse	Platzlotsen (Tower-Lotsen)			Center-Lotsen: An- / Abfluglotsen	Center-Lotsen: Planungslotsen (Coordinator) Radarlotsen (Executive)

Abbildung 2: Struktur der Flugverkehrskontrolle [Klußmann, Malik 2012, S.20]

Wie aus Abbildung 2 zu erkennen ist, werden die Fluglotsen grob unterteilt in: Tower Lotsen und Center Lotsen. Die Tower Lotsen befinden sich direkt am Flughafen und sind für den unmittelbaren Bereich auf und um den Flughafen zuständig. Aus dem Tower haben sie Sicht über den gesamten Flugplatz und koordinieren so die Rollbewegung am Boden und die Anweisungen für Start und Landungen. An Verkehrsflughäfen werden die Aufgaben in zwei Bereiche gegliedert, der Ground Control und der Flugplatzkontrolle. Die Ground Control ist für die Rollbewegungen auf dem Vorfeld bis zum Beginn der Start- und Landebahnen zuständig. Dort übernimmt die Flugplatzkontrolle die Flugzeuge. Der zuständige Tower-Lotse koordiniert die Bewegungen auf den Start- und Landebahnen, überprüft ob diese frei sind und erteilt Start- und Landefreigaben bzw. im Falle eines Zwischenfalls die Durchstartanweisung. Die Position des Center Lotsen unterteilt sich noch einmal in verschiedene Aufgabengebiete. In direkter Kommunikation mit dem Tower Lotsen steht der Approach Lotse (An- und Abflugkontrolle). Ist das Flugzeug gestartet, übergibt der Tower Lotse an die Abflugkontrolle, welche das Flugzeug mit Steiganweisungen auf eine definierte Flughöhe navigiert. Dort wird das jeweilige Flugzeug an die Streckenkontrolle für den unteren Luftraum (Area Control Center (ACC)) übergeben. Die Lotsen des ACC sind für die Luftfahrzeuge bis Flight Level 245 verantwortlich. In Deutschland teilt sich der untere Luftraum in vier Sektoren, die von den Centern: Langen, München, Bremen und Frankfurt aus kontrolliert und gesteuert werden. Über Flight Level 245 übergibt die ACC an die obere Streckenkontrolle (Upper Area Control

(UAC)), welche ihren Sitz in Karlsruhe und München hat. Pro Sektor sind je ein Radarlotse und ein Koordinationslotse als Team zuständig. Beim Anflug des Flugzeuges wird die Kette rückwärts durchlaufen. Das ACC übergibt das Flugzeug an die Anflugkontrolle, welche sich die Flugzeuge nach Höhe und Entfernung zueinander staffelt. An den meisten Flughäfen ist eine Anflugstrecke entwickelt worden, welche sich Transition nennt, die es dem Lotsen erleichtern soll die Anflüge zu staffeln. In Abbildung 3 ist die Transition für den Flughafen Berlin Tegel zu sehen. Über diese Route führt der Lotse die Flugzeuge, bis sie auf dem Instrument Landing System (ILS) ausgerichtet sind und übergibt sie dann an den Tower. An Flughäfen mit hohem Verkehrsaufkommen wird die Anflugkontrolle von einem sogenannten Feeder- oder Director-Lotsen unterstützt. Wenn das Flugzeug sich auf dem Downwind (Gegenanflug) der Transition befindet, übergibt die Anflugkontrolle an den Feeder, welcher den Flugzeugen dann eine Landebahn zuteilt und sie aufs ILS dreht. Befindet sich das jeweilige Luftfahrzeug auf dem ILS, wird er wieder an den Tower übergeben.

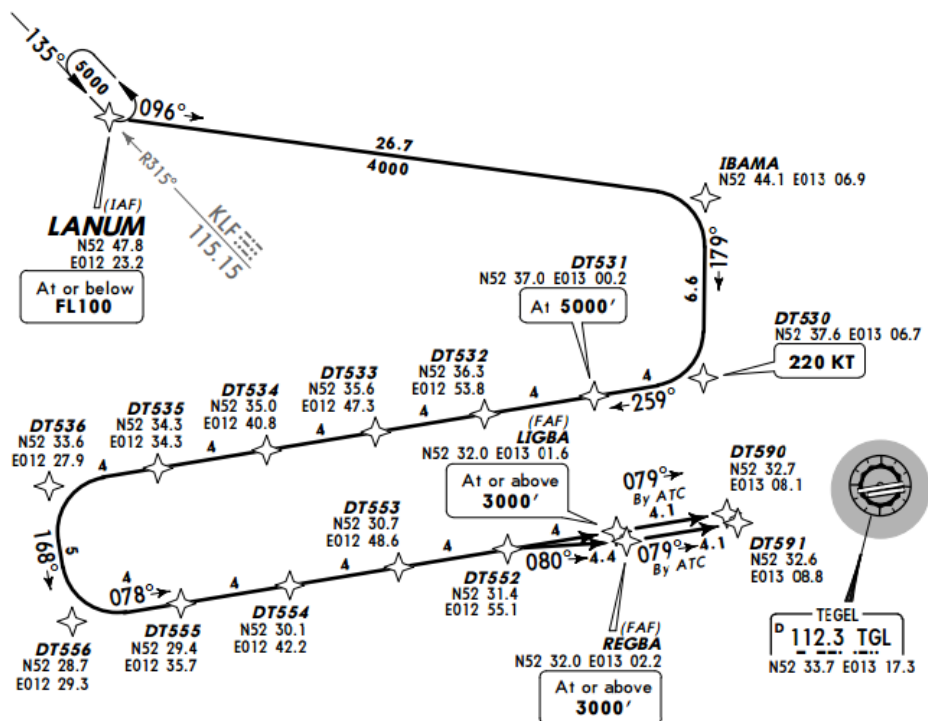


Abbildung 3: Transition Flughafen Berlin Tegel [Jeppesen (Hg.)]

2.2.1 Approach Control (Anflugkontrolle) und Feeder

Da sich das Projekt MAPControl speziell mit dem Arbeitsplatz des Approach Lotsen, bzw. des Feeders beschäftigt, wird diese Position hier noch einmal detaillierter betrachtet.

Die Anflugkontrolle ist für die sogenannte „Terminal Area(TMA)“ (Nahverkehrsbereich) zuständig, welche sich „[...] ca. 30 bis 50 km vom Startpunkt entfernt [...]“ befindet [Klußmann, Malik 2012, S.13]. Die Flugzeuge im Landeanflug werden an dieser Grenze vom Streckenlotsen an den Anfluglotsen übergeben. Die in den Nahverkehrsbereich einfliegenden Flugzeuge müssen nun gestaffelt werden, wobei eine Entfernung der einzelnen Flugzeuge zueinander, von 3 Nautischen Meilen (NM) nicht unterschritten werden sollte. Dafür stehen dem Lotsen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung.

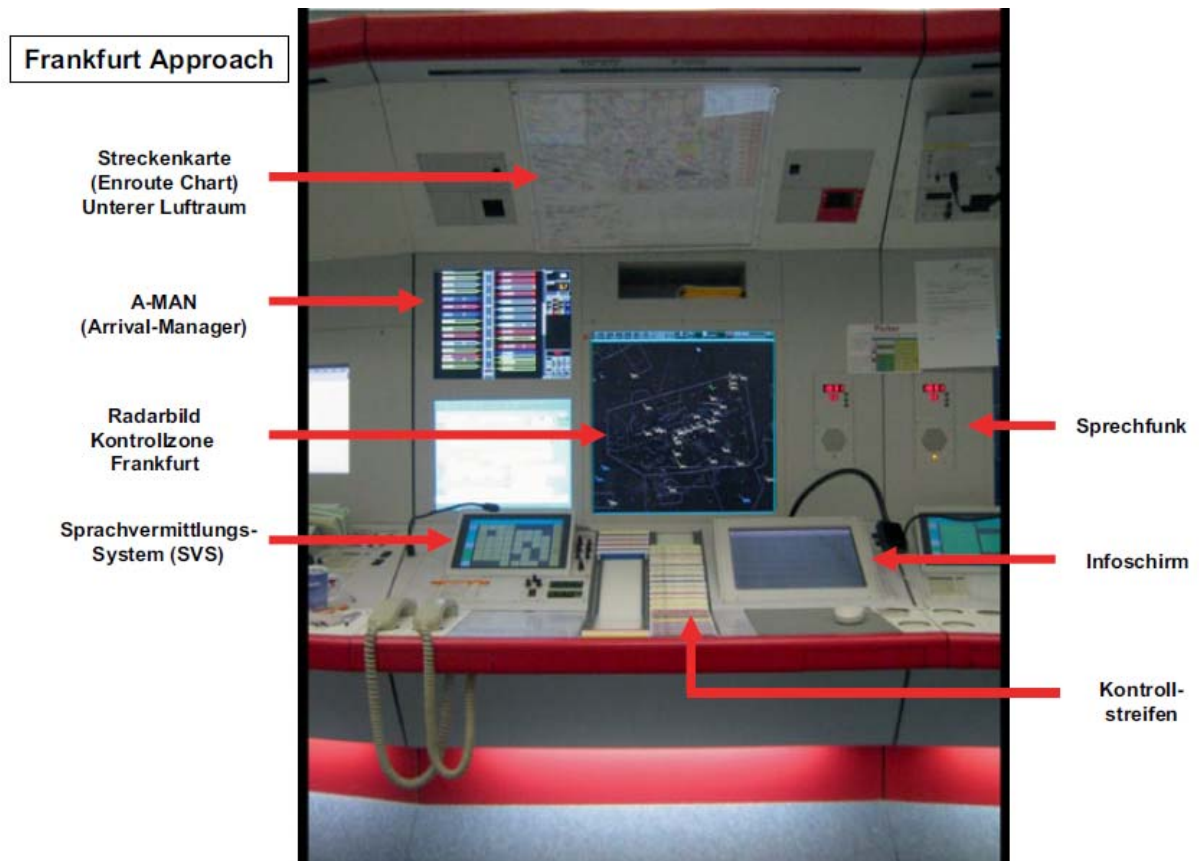


Abbildung 4: Arbeitsplatz der Anflugkontrolle "Langen (Frankfurt) Approach" [Mensen 2014, S.391]

In Abbildung 4 ist der Arbeitsplatz der An- und Abflugkontrolle Frankfurt am Main zusehen, welcher sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

1. Radarbildschirm:

Der Radarbildschirm (Radar - Radio Detection and Ranging) gibt die Bilder der eigentlichen Radaranlage aus und stellt so ein aktuelles Bild der Luftlage dar. Es wird eine zweidimensionale Darstellung erzeugt, die das jeweilige Zuständigkeitsgebiet des Lotsen abbildet. Die Flugzeuge werden als Punkte dargestellt und mit Hilfe des sogenannten „Label“ werden dem Flugzeug weitere wichtige Informationen zugewiesen.

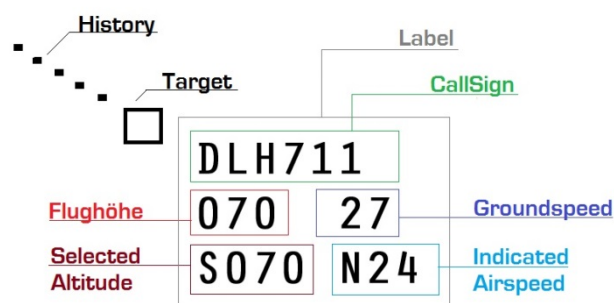


Abbildung 5: Label im Radarbildschirm [DFS 2013]

Die Anzeige des Labels lässt sich anpassen, sodass sich der Fluglotse die für ihn relevanten Daten ausgeben lassen kann. Dazu gehören unter anderem: Flugzeugtyp, Wirbelschleppenkatégorie, aktuelles Flight Level, angewiesenes Flight Level, zugeteilte Geschwindigkeit und Richtung, sowie Steig- und Sinkraten.

Wie auch in Abbildung 4 zu sehen ist, hat das Radarbild meistens eine Negativdarstellung. Dieses Designkonzept findet man unter anderem auch in Flugzeugcockpits unter dem Namen „Quiet/Dark Philosophy“ [Novacek 2003].

2. Infoschirm

Über das Informationsdisplay, oder auch Touch-Input-Device (TID) genannt, lassen sich Einstellung, unter anderem für das Radar-Display, vornehmen und detailliertere Informationen für bestimmte Flüge abrufen. [Vgl. DFS 2013]

3. AMAN

Der Arrival-Manager (AMAN) unterstützt die Fluglotsen bei der Planung der Anflüge. Er berechnet, sortiert und schlägt, anhand der ihm vorliegenden Daten und Richtlinien, Staffelung und Anflugführungen vor. Zu betonen ist hier, dass es sich dabei um Vorschläge handelt und die eigentliche Entscheidung und Durchführung bei dem jeweiligen Fluglotsen liegt.

4. ATCISS

Der ATCISS-Bildschirm (Air Traffic Control Information Support System) ist in der Abbildung 4 nicht gekennzeichnet, befindet sich jedoch unter dem AMAN-Display. Hier lassen sich Bilder des Wetterraders, des Bodenradars, Karten oder weitere Information anzeigen.

5. Board mit Kontrollstreifen

Der Flugstreifen (Flight Strip) ist eines der ältesten Hilfsmittel in der Flugsicherung, welcher bereits 1953, bei der Gründung der Bundesanstalt für Flugsicherung verwendet wurde. [Vgl. BDL]

Der Fluglotse bekommt für jedes Flugzeug, das er betreut, einen Kontrollstreifen. Die Informationen auf diesem Flugstreifen setzen sich aus Daten zusammen, die dem Flugplan entnommen werden und der aktuellen Position des Flugzeugs. Die Flugstreifen können sich untereinander, je nach Einsatzort unterscheiden.

Abbildung 6 stellt beispielhaft den Inhalt eines Flugstreifens dar.

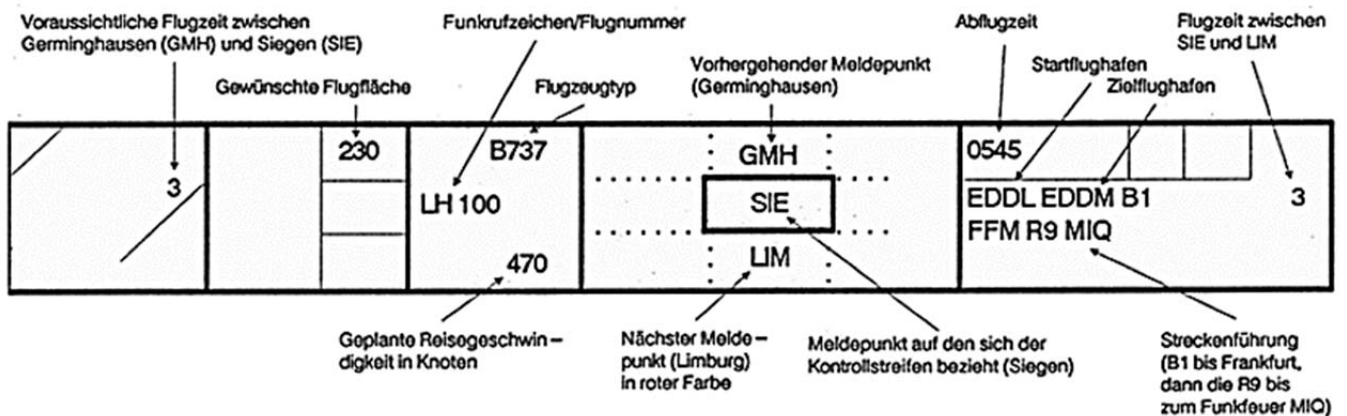


Abbildung 6: Kontrollstreifen [Mensen 2014, S.382]

6. Sprachvermittlungssystem (SVS)

Das Sprachvermittlungssystem ist im Grunde ein Telefon, über das mit anderen Fluglotsen kommuniziert wird. Die Navigation erfolgt meistens über Direktwahlkosten, um eine schnelle Kommunikation zu gewährleisten.

2.3 Multi-Touch und Gestensteuerung

1974 bereits entwickelte der amerikanische Wissenschaftler Dr. Sam Hurst den ersten funktionstüchtigen berührungsempfindlichen Display [Vgl. LMU]. 33 Jahre später (2007) gelang der Technologie ein rasanter Durchbruch, als das erste iPhone veröffentlicht wurde. Heutzutage ist diese Technologie in vielen Lebensbereichen etabliert und kaum noch weg zu denken. Gerade bei Computersystemen ermöglichen Touch Oberflächen neue Interaktions- und Bedienungskonzepte, die mit Maus und Tastatur nur schwer umzusetzen wären. Durch diese Art der Interaktion kann intuitiver mit virtuellen Objekten interagiert werden, da diese direkt auf dem Bildschirm manipuliert werden können (skalier-, und/oder verschiebbar), ohne den Umweg über Maus oder Tastatur zu machen.

2.3.1 Multi-Touch Technologie

Das Multi-Touch-Display ist eine Art der Touchscreens, bei der mehrere Berührungspunkte gleichzeitig erkannt und verarbeitet werden können. Dies erlaubt den Einsatz von komplexeren Gesten, die die Anwendbarkeit des Systems und die Bedienungsmöglichkeiten erweitern.

Bei der Gestaltung eines HMI, basierend auf einem Multi-Touch-Display, ist zu beachten, dass sich die unterschiedlichen Touch-Technologien auch auf die Anwendungsmöglichkeiten auswirken.

Im Folgenden werden zwei der wesentlichen Technologien von berührungsempfindlichen Bildschirmen vorgestellt.

2.3.1.1 Kapazitiver Touchscreen

Der kapazitive Touchscreen ist zur Zeit der meist verbreitete Vertreter bei Multi-Touch-Displays, da diese Arte der Technik in den meisten mobilen Geräten, wie Handy und Tablets,

verbaut ist. [Vgl. Spath, et al. 2010, S.11] Man kann hierbei noch zwischen zwei Arten der Umsetzung unterscheiden. Bei den oberflächen-kapazitiven Bildschirmen wird das Glas mit einem leitenden Material überzogen (z.B.: Indiumzinnoxid). In den Ecken wird diese Schicht mit Elektroden verbunden, wodurch sich ein elektrisches Feld aufbaut. Berührt nun ein leitendes Material, wie zum Beispiel ein Finger, den Bildschirm überträgt sich ein Teil der Ladung. Der Ladungsverlust wird im elektrischen Feld an den Elektroden gemessen und daraus die Position der Berührung berechnet. Für Multi-Touch Geräte wird häufig die projektiv-kapazitive Bauweise verwendet. Hierbei werden zwei Schichten von leitenden Bahnen parallel zueinander verlegt, wobei die Bahnen der einen Schicht orthogonal zu der der anderen verläuft (siehe Abbildung 7). An die einzelnen Bahnen wird eine Spannung angelegt, sodass sich die Punkte, an denen sich zwei Bahnen kreuzen, wie Kondensatoren verhalten. Der Punkt der Berührung kann über den Standort der einzelnen Kondensatoren ermittelt werden. Berührt ein Finger den Bildschirm, so ändert sich die Kapazität der Kondensatoren an dieser Stelle. [M. Bhalla, A. Bhalla 2010, S.13-14]

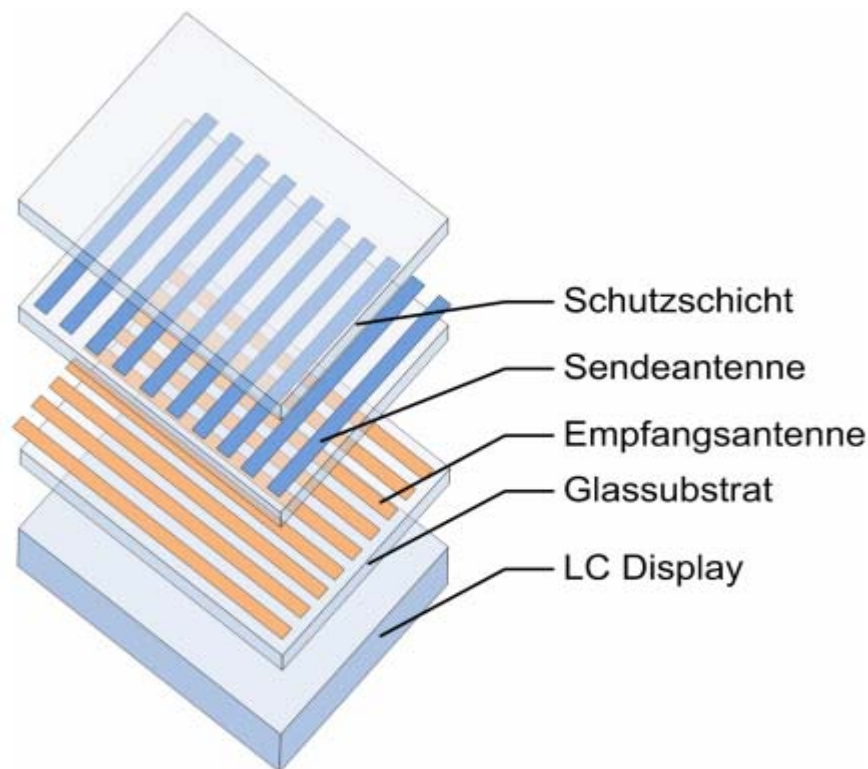


Abbildung 7: Aufbau eines projektiv-kapazitiven Multi-Touch Screens [Spath, et al. 2010, S.11]

2.3.1.2 Infrarot Touchscreen

Als Alternative sei hier noch eine Variante vorgestellt, die zu den optischen Systemen gehört. Durch Infrarot Sender und Empfänger am Rand des Displays wird eine Matrix erzeugt. Das äußere Glas ist flexibel und gibt bei Krafteinwirkung nach. Übt der Benutzer nun Druck auf das Displayglas aus werden die Strahlen unterbrochen und der Empfänger registriert das. Aus der Matrix ist die genaue Position bestimmbar. [Vgl. M. Bhalla, A. Bhalla 2010, S.14]

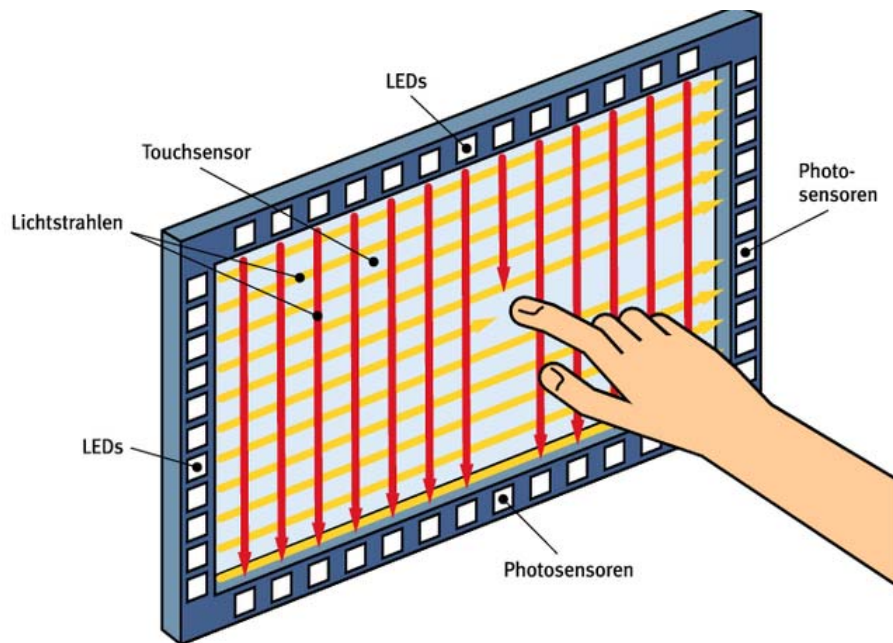


Abbildung 8: Aufbau eines Infrarot Touchscreen [Geysse 2011]

Wie in der Studie „Multi Touch“ des Fraunhofer-Instituts beschrieben wurde eignet sich die Infrarottechnik nur bedingt für Multi-Touch-Anwendungen. Befinden sich zwei oder mehr Unterbrechungen auf der Linie eines Lichtstrahls, so ist die genaue Positionsbestimmung der einzelnen Punkte schwierig und kann zu Fehlern führen. [Vgl. Spath, et al. 2010]

2.3.2 Gesten

Jeder von uns benutzt Gesten tagtäglich, ob bewusst oder unbewusst. Die Schüler in der Schule heben die Hand, um die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken, man zeigt mit dem Finger auf einen Gegenstand oder winkt jemandem zu. All das sind Formen des Ausdrucks zur nonverbalen Kommunikation.

Gesten allgemein können im dreidimensionalen Raum stattfinden, reduzieren sich aber bei der Interaktion mit einem Touchscreen aufs Zweidimensionale.

Vladimir I. Pavlovic nahm eine Klassifizierung von Gesten vor, die sich auf die Hand und den Arm beziehen.

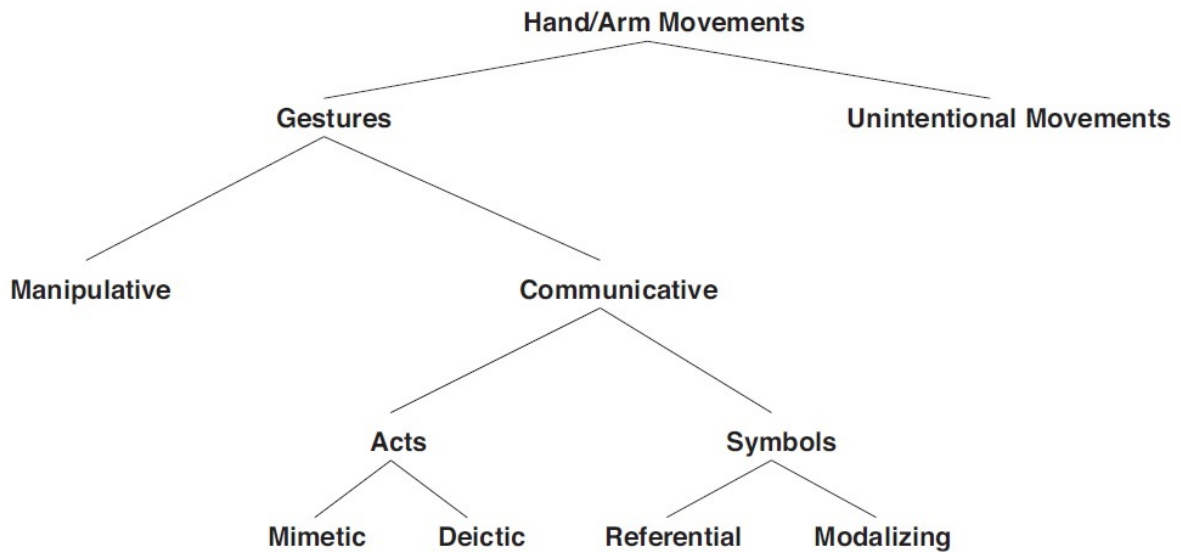


Abbildung 9: Klassifizierung von Hand- und Armgesten nach Pavlovic [Pavlovic, Sharma, Huang o.J.]

„Eine Geste ist die Bewegung von Fingern, Händen und Armen – oder auch weiterer Körperteile, wie Kopf, Augen und Lippen – aufgrund einer kommunikativen Absicht. Damit enthält die Bewegung signifikante Informationen, die an den Computer übermittelt werden sollen.“ [Preim, Dachzelt 2015, S.497]

Bernhard Preim und Raimund Dachzelt beschränken sich zur Unterteilung der Gesten auf die drei Kategorien: deiktische Gesten, manipulative Gesten und symbolische Gesten. [Vgl. Preim, Dachzelt 2015, S.576]

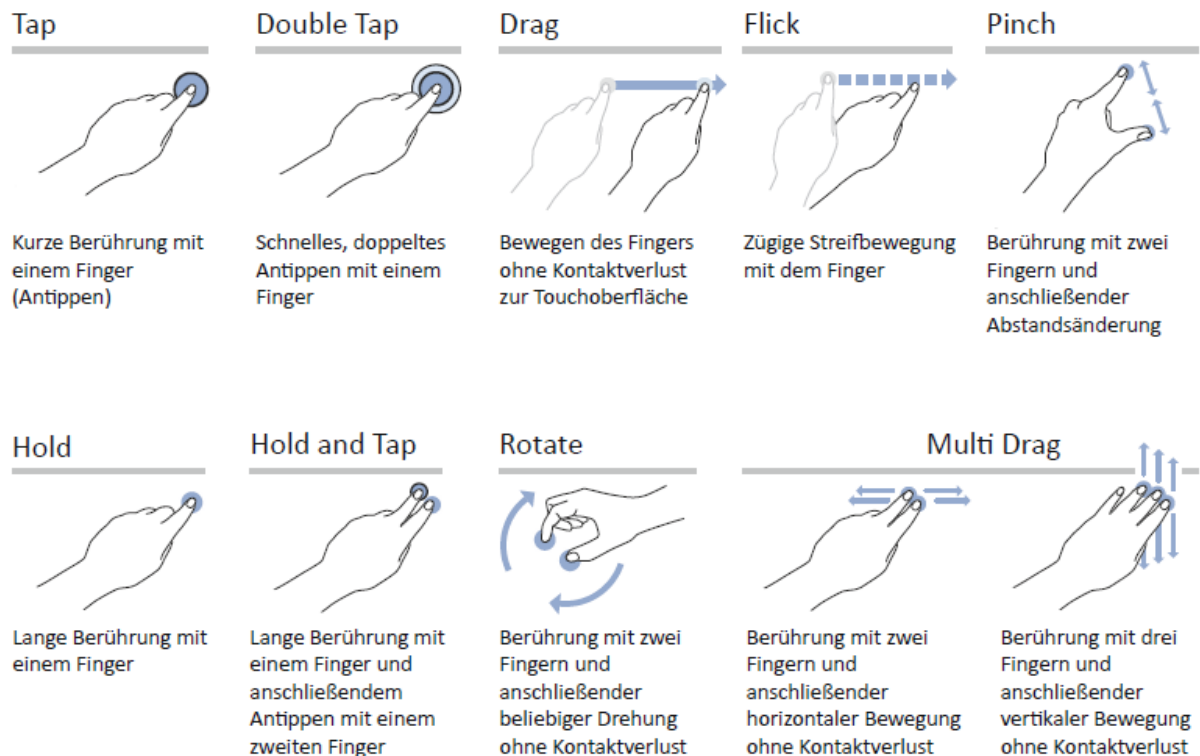


Abbildung 10: Zusammenfassung häufig verwendeter Gesten [Preim, Dachzelt 2015]

Deiktische Gesten sind dem Zeigen mit dem Finger nach empfunden und dienen meistens der Auswahl eines Objekts. Zu dieser Kategorie gehören Gesten wie: Tap, Double Tap oder Hold. Möchte man auf einem Bildschirm zum Beispiel die Position, oder die Größe eines Objektes verändern, verwendet man manipulative Gesten, auch hier wird versucht, Gesten aus dem Alltag nachzubilden. Das Drag ähnelt dem Herumschieben eines Papierblattes auf einem Schreibtisch. In der letzten Kategorie, den symbolischen Gesten werden unter anderem Zeichen verwendet, um bestimmte Aktionen auszuführen. Ein Beispiel hierfür ist das Malen eines X, um eine Anwendung zu schließen, oder etwas abzulehnen.

2.4 Visuelles System und Farbschema

Das visuelle System des Menschen ist eines der komplexesten Teile unseres Nervensystems und ist ein wesentlicher Bestandteil für die Interaktion mit unserem Umfeld. „Man geht heute davon aus, dass bis zu 80% aller Wahrnehmung visuell erfolgen oder aber vom Sehsinn beeinflusst werden.“ [Zeiss 2006, S.9]

2.4.1 Visuelles System

Das visuelle System besteht aus dem Auge, welches sich in den dioptrischen Apparat und die Retina gliedern lässt, dem Sehnerv und Teilen des Gehirns (visueller Cortex).

Bernhard Preim und Raimund Dachzelt gliedern die visuelle Informationsaufnahme in drei Schritte:

- „1. Umwandlung von Licht in Nervenimpulse
2. Trennung von Signalen und der Weiterleitung in das Gehirn und
3. Interpretation im Gehirn.“ [Preim, Dachzelt 2010, S.44]

Für die vorliegende Arbeit sind zwei Aspekte des visuellen Systems von Bedeutung, weshalb im Folgenden kurz darauf eingegangen wird.

Das Licht wird von Objekten reflektiert und fällt durch die Hornhaut ins Auge, wobei diese wie eine Sammellinse wirkt und das einfallende Licht bündelt. Hinter der Hornhaut kommt die Pupille, welche man sich wie eine Kameralinse vorstellen kann. Sie reguliert die Menge an Licht, die ins Auge fallen kann. Bei Zunahme der Lichtintensität ziehen sich die Muskeln um die Iris zusammen und die Pupille verkleinert sich. Bei Abnahme der Intensität passiert genau das Gegenteil und die Pupille vergrößert sich, es kann mehr Licht ins Auge fallen. Diesen Vorgang nennt man Adaption. Als Schlussfolgerung für die Gestaltung von HMI und besonders für die Farbwahl gilt, dass mit möglichst wenig Kontrastunterschieden gearbeitet werden sollte, um die Adaptionszeit gering zu halten und die Augen zu entlasten. Das Farbsehen wird durch die Retina ermöglicht, welche sich aus zwei verschiedenen Arten von Photorezeptoren zusammensetzt, den Zapfen und den Stäbchen. Die Zapfen befinden sich vorwiegend im Zentrum der Retina und sind für das Farbsehen zuständig. Dabei gibt es drei Arten von Zapfen, die jeweils nur auf einen bestimmten Bereich von Wellenlängen reagieren. Nämlich für rotes, grünes und blaues Licht. Die Stäbchen sind wesentlich lichtempfindlicher und kommen besonders gehäuft im Randbereich der Netzhaut vor. Sie dienen unter anderem zum Sehen bei schwachen Lichtverhältnissen und dienen nur dem Schwarz-/Weißsehen. Werden die Stäbchen und Zapfen von der entsprechenden Wellenlänge angeregt, wird das Signal mit umliegenden Rezeptoren verglichen. Wird eine bestimmte Intensität überschritten, der sogenannte Schwellenwert, wird die Wellenlänge in einen elektrischen Impuls umgewandelt und über den Sehnerv ins Gehirn geleitet. Hier wird das elektrische Signal interpretiert und in ein Bild übersetzt.

2.4.2 Farben

Farben sind für die meisten Menschen eine banale Sache, die zum Leben dazugehört und in den meisten Fällen gar nicht bewusst wahrgenommen wird. Farben begleiten uns durch jeden Tag und beeinflussen uns in vielerlei Hinsicht. Interessant dabei ist, dass eine Farbe an sich nur über ihre Wellenlänge definiert ist und weiter an sich keine Informationen übermittelt. Der Informationsgehalt kommt erst dadurch zustande, dass der Mensch Farbverläufe interpretiert und den einzelnen Farben eine bestimmte Bedeutung zuordnet. Dabei haben sich weltweit einige Standards entwickelt. Ein typisches Beispiel aus dem Alltag ist die Fußgängerampel, bei der rot „stehen bleiben“ bedeutet und grün „du darfst gehen“. In Abbildung 11 ist die Farbkodierung aus verschiedenen DIN Normen aufgeführt, wobei deutlich wird, dass den Farben systemunabhängig ähnliche Bedeutung zugeordnet werden.

Herkunft	Bereich	Farbe				Gelb	Rot	Schwarz	Weiß
		Blau	Grün						
DIN IEC 73	Leuchtmelder	Spezielle Information	Sicherheit			Warnung oder Vorsicht	Alarm oder Gefahr	–	Allg. Information
DIN VDE 0199	Sicherheit von Personen und Umwelt	Spezielle Information, Vorschrift	Sicherheit			Vorsicht	Gefahr	Allgemeine Information	
DIN VDE 0199	Prozesszustand	Spezielle Information	Normal			Anormal	Not	Allgemeine Information	
DIN IEC 16336	Zustand der Einrichtung	Spez. Bedeutung	Normal			Anormal	Fehlerhaft	Keine spez. Bedeutungen zugewiesen	
VDI 3850 DIN EN 60073	Prozesszustand	Zustand der ein Handeln erfordert	Normaler Zustand			Anormaler Zustand, Warnung eines bevorstehenden kritischen Zustands	Kritischer Zustand	Freie Bedeutung (allerdings unterschiedlich zu anderen Farben)	
	Notwendige Bedieneraktivität	Eingreifen spez. Tätigkeit	Kein Handlungsbedarf			Beobachten und/oder Eingreifen zum Vorbeugen von Gefahr	Dringender Handlungsbedarf, sofortiges Reagieren	Überwachen	
DIN EN 60073	Beispiel	Anzeige einer vorgeschriebenen Tätigkeit	Anzeige eines sicheren Zustandes, sicheres Vorgehen			Störung, fehlerhafter Zustand, dauerhaftes oder vorübergehendes Risiko	Gefahr oder Befehl	Allgemeine Information	
DIN EN 60204	Drucktaster- Bedienteile	Bei einem Zustand betätigen, der eine zwingende Handlung erfordert	Betätigen, um übliche Zustände einzuleiten			Bei einem anomalen Zustand betätigen	Bei gefährbringendem Zustand oder im Notfall betätigen	Allgemeine Einleitung von Funktionen	
DIN 4844	Sicherheitszeichen	Gebotszeichen, Hinweise	Gefahrlosigkeit, Erste Hilfe			Vorsicht! mögliche Gefahr	Halt! Verbot	Allgemeine Information	

Abbildung 11: Farbkodierung in verschiedenen Normen (Zühlke, 2012)

Aber wie definiert man den Begriff Farbe?

„Farbe [ist] eine Sehempfindung, die durch Licht bestimmter Wellenlänge hervorgerufen wird“ [Ahlheim 1989, S.123]

Wie bei 2.4.1. beschrieben besitzt die menschliche Netzhaut Zapfen, die drei verschiedene Bereiche von Wellenlängen absorbieren (rot, blau, grün). Alle anderen Farben entstehen dadurch, dass mehrere Arten von Zapfen gleichzeitig angeregt werden.

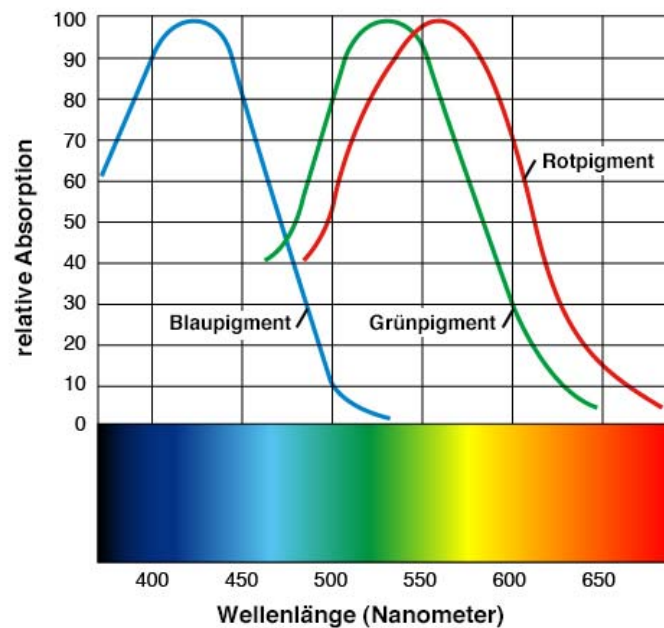


Abbildung 12: Farbspektrum des menschlichen Auges [BCM]

2.4.3 Gestaltungskriterien

Aufgrund der hohen Bedeutung der visuellen Informationsaufnahme spielt die farbliche Gestaltung im Interaktionsdesign eine entscheidende Rolle.

Der Einsatz von Farbe in User-Interfaces kann den Menschen bei seiner Arbeit unterstützen bzw. entlasten, jedoch bei ungeeigneter Gestaltung auch belasten oder ablenken. Aus diesem Grund muss die farbliche Gestaltung durchdacht und einige Gestaltungskriterien beachtet werden.

Jing Xing unterteilt die Eigenschaften einer geeigneten Farbgestaltung in die drei Aufgabenbereiche: Aufmerksamkeit, Identifizierung und Aufteilung. [Vgl. Xing 2006] Farbe kann genutzt werden, um die Aufmerksamkeit des Benutzers auf einen bestimmten Bereich des Systems zu lenken. Dies wird oft eingesetzt, um auf kritische Systemzustände oder Warnungen aufmerksam zu machen. Durch das Einsetzen von Farbe, welche sich in Farbton und Intensität von den anderen Farben unterscheidet, wird das Auge angeregt diesen Bereich zu fokussieren. Wird einer Farbe eine bestimmte Bedeutung zugeordnet, kann dies den Anwender bei der Suche nach Informationen unterstützen und diese beschleunigen. Im dritten Aufgabenbereich wird die Farbe genutzt, um Bereiche voneinander abzugrenzen und so für den Anwender eine übersichtlichere Aufteilung zu gestalten.

Die Anzahl der Farben sollte möglichst gering gehalten werden, um sowohl die visuelle, als auch die kognitive Beanspruchung gering zu halten. 1999 wurde in der „Guidelines for the Use of Color in ATC Displays“ eine Empfehlung ausgesprochen, nicht mehr als sechs bedeutungstragende Farben zu verwenden [Vgl. Cardosi, Hannon 1999, S.6]. Aufgrund ihrer guten Unterscheidbarkeit werden die in Abbildung 13 zu sehenden Farben: rot, grün, blau, gelb, cyan und magenta, vorgeschlagen.


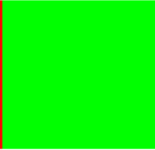
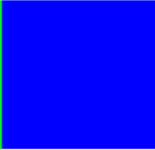
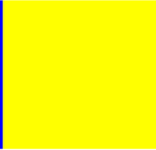


					
R: 255	R: 0	R: 0	R: 255	R: 0	R: 255
G: 0	G: 255	G: 0	G: 255	G: 255	G: 0
B: 0	B: 0	B: 255	B: 0	B: 255	B: 255

Abbildung 13: Die empfohlenen sechs Farben für ATC-Displays und ihre RGB-Zusammensetzung (eigene Darstellung)

3. Ist-Analyse

3.1 Vorheriges Konzept

Unter dem Namen „MApControl 1.0“ führte das DLR Braunschweig eine erste Studie zum Thema gestenbasierte Eingabe von Lotsenkommandos durch. Das Konzept sah vor, dass das Radarbild auf einem Multi-Touch fähigen Bildschirm dargestellt wurde und so die Lotsenkommandos, in Form von Gesten, direkt auf dem Radarbild ausgeführt werden konnte.

Aus der Validierung dieses Konzept wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

Die Interaktion auf dem Touch-Display ist einfach und die Gesten sind intuitiv. Durch die geringe Menütiefe wird ein schneller Arbeitsprozess ermöglicht. Gesten die von der Bewegung an die Bedeutung der Anweisung angelehnt sind, sind einfach zu verstehen und zu merken. Als Nachteil wurde festgehalten, dass es schwierig sein kann bewegte Objekte zu treffen. Durch die Interaktion direkt auf dem Radarbildschirm wurden Informationen teilweise durch die Hände verdeckt. Ein weiterer Nachteil bestand in der eingesetzten Touch-Technologie. Die Infrarot-Technik erzeugte teilweise falsche oder ungewollte Eingaben.

[Vgl. Jauer 2015b]

3.2. Aktuelles Konzept

Bei dem aktuellen Konzept wird auf eine direkte Eingabe der Gesten, auf dem Radarbildschirm, verzichtet. Hierfür wird ein separates Multi-Touch-Display verwendet. Dieses Gerät ist von der Firma „Wacom“ und hat die Modell Bezeichnung: „Cintiq 13HD Touch“.

Das 13 Zoll große Display basiert auf der Technik des kapazitiven Touchscreens und unterstützt Multi-Touch-Eingaben. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, besitzt es weiterhin einen „Rocker Ring“ [wacom c] mit vier Eingabe Möglichkeiten, sowie vier „ExpressKeys“ [Vgl. wacom c] die individuell belegbar sind.



Abbildung 14: Wacom Cintiq 13HD Touch [wacom b]

Über ein zweites Display wird das Radarbild dargestellt, welches in diesem Versuchsaufbau durch das Programm „RadarVision“ realisiert wird.

3.2.1 Allgemeiner Ablauf einer Eingabe

Der Fluglotse spricht über das Callsign ein entsprechendes Flugzeug an. Wird das Callsign erkannt, bekommt das entsprechende Label des angesprochenen Flugzeuges eine weiße Umrandung. Sollte das Callsign nicht oder falsch verstanden worden sein, so hat der Lotse die Möglichkeit das Flugzeug manuell aus einer Liste auf dem Touch-Display per Tap-Geste auszuwählen. Der Pilot erhält nun eine Anweisung, die wiederum vom Spracherkenner auf das System übertragen wird. Auch hier können per Geste Korrekturen oder Änderungen vorgenommen werden. Die Anweisung wird im Label des Flugzeugs gelb hervorgehoben. Nun kann der Lotse die Eingabe bei Readback des Piloten vergleichen und gegebenenfalls noch einmal eine Änderung vornehmen. Anschließend wird die Anweisung, wie in 3.2.2 beschrieben wird, auf dem HMI bestätigt.

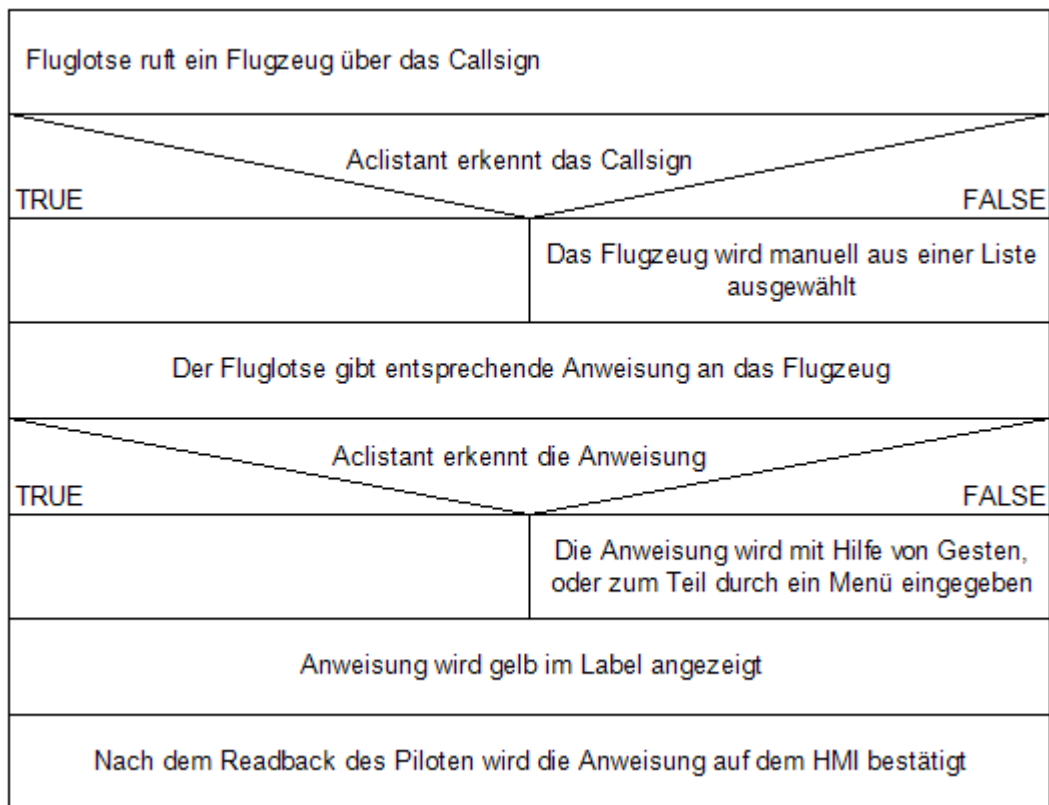


Abbildung 15: Ablauf einer Eingabe am multimodalen Lotsenarbeitsplatz (eigene Darstellung)

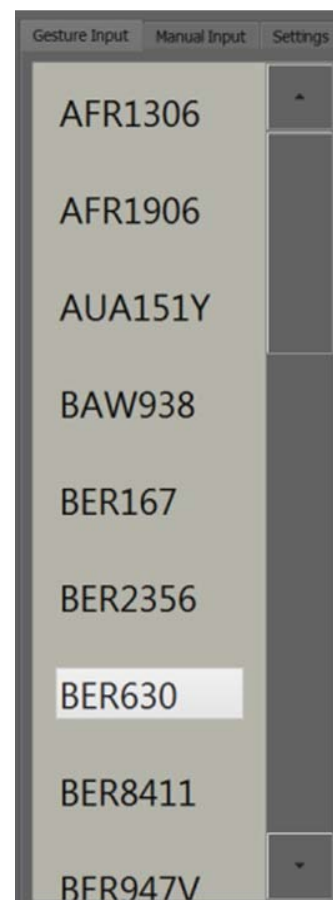
3.2.2 Implementierte Gesten und Beschreibung der Benutzeroberfläche

Flugzeugauswahl:

Die Auswahl eines Flugzeuges erfolgt über eine Liste, am linken Bildschirmrand des Touchscreens, in der alle Flugzeuge die sich im Zuständigkeitsbereich des Fluglotsen befinden aufgelistet sind. Das Feld mit der Liste der Flugzeuge wird, wie in Abbildung 16 rechts zu sehen ist, durch einen helleren Grauton hervorgehoben. Die Flugzeugnamen sind in schwarzer Farbe und über eine Scroll-Leiste lässt sich die Liste nach oben und unten verschieben. Über die Tap-Geste wird das gewünschte Flugzeug ausgewählt und durch einen hellgrauen Rahmen hervorgehoben.



Abbildung 16: Geste für die Auswahl eines Flugzeugs (eigene Darstellung) und Screenshot der Flugzeugliste (rechts) [Jauer 2015a]



Bestätigung:

Nachdem eine Anweisung für das ausgewählte Flugzeug eingegeben wurde, muss diese bestätigt oder verworfen werden. Hierfür wurden zwei Methoden implementiert.

Die erste Möglichkeit wird direkt auf dem Touchscreen ausgeführt. Nach der Eingabe einer Anweisung teilt sich der Bildschirm in einen grünen und in einen roten Bereich (siehe Abbildung 17). Durch eine Berührung im grünen Bereich wird die Anweisung bestätigt und auf

das Label übertragen, bei einer Berührung im roten Bereich wird die Anweisung verworfen und im Label erscheint wieder der vorherige Wert.

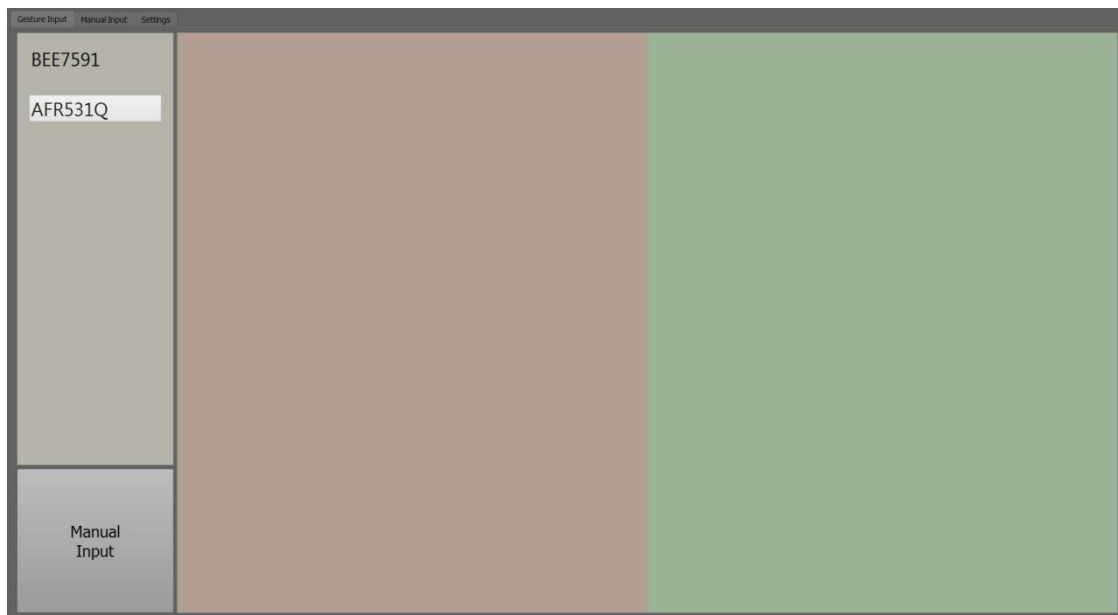


Abbildung 17: Screenshot für die Bestätigung einer Eingabe

Als zweite Möglichkeit kann die Eingabe auch über den „Rocker Ring“, am Rand des Touch-Displays, bestätigt werden. Auch hier steht ein Druck auf den linken Knopf für eine Verneinung der Anweisung und rechts für eine Bestätigung. Abbildung 18 zeigt die Visualisierung auf dem Radarbildschirm, um Fehler bei der Eingabe zu vermeiden.

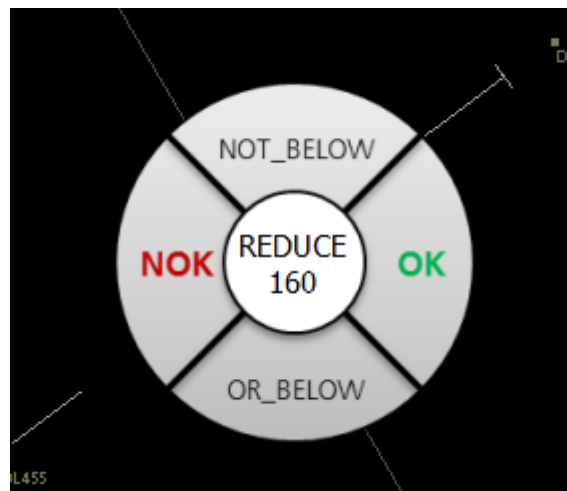


Abbildung 18: Screenshot der Darstellung des "Rocker Ring" auf dem Radarbildschirm

Speed-Anweisung:

Um dem ausgewählten Flugzeug eine Geschwindigkeit zu zuweisen, wird mit einem Finger der Touchscreen berührt und eine geradlinige Drag-Geste nach links oder rechts ausgeführt.

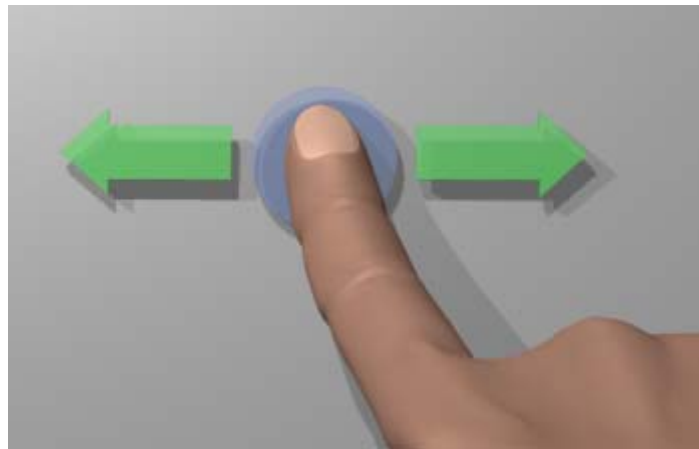


Abbildung 19:Geste für die Speed-Anweisung (eigene Darstellung)

Eine Bewegung nach links führt zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit, nach rechts zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit. Dies deckt sich mit der menschlichen Gewohnheit, dass in den meisten Systemen eine Bewegung nach links eine Reduzierung und nach rechts eine Steigerung zur Folge hat (Beispiel: Volumenregler an einer Stereo-Anlage). Zudem erwarten wir die kleinste Zahl in einer Zahlenfolge links, da wir im lateinischen Schriftsystem von links nach rechts schreiben.

Wenn der Finger den Touchscreen berührt und die Geste in eine Richtung ausgeführt wird, erscheint auf dem Radarbildschirm ein Balken, mit einem Geschwindigkeitsbereich. Das vorgegebene Intervall, an auswählbaren Geschwindigkeiten, ist von der aktuellen Fluggeschwindigkeit abhängig. Wie in Abbildung 20 zu sehen ist, hebt sich der Balken durch einen Grauton vom eigentlichen Radarbildschirm ab. Die Zahlen für die Fluggeschwindigkeit sind weiß. Die aktuelle Fluggeschwindigkeit ist schwarz und durch einen transparenten Reglerknopf gekennzeichnet. Der eigentliche Reglerknopf bewegt sich mit der Finger-bewegung mit und zeigt durch eine fette, hochgestellte Zahl die aktuelle Auswahl an.

Wird der Kontakt zwischen Finger und Touchscreen unterbrochen, bleibt die aktuelle Auswahl eingeloggt und muss anschließend noch bestätigt oder verworfen werden.

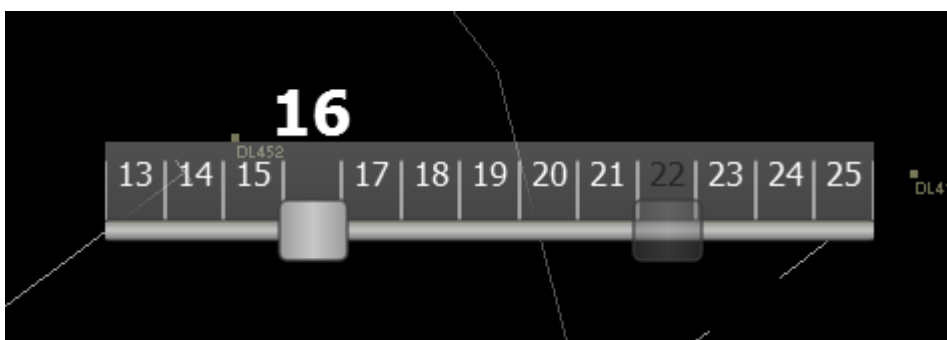


Abbildung 20:Screenshot des Geschwindigkeits-Reglers

Altitude-Anweisung:

Die Geste zur Veränderung der Höhe orientiert sich an unserer räumlichen Vorstellung.

Die Geste wird auch mit einem Finger ausgeführt und durch eine Drag-Bewegung nach oben, oder unten bewegt.

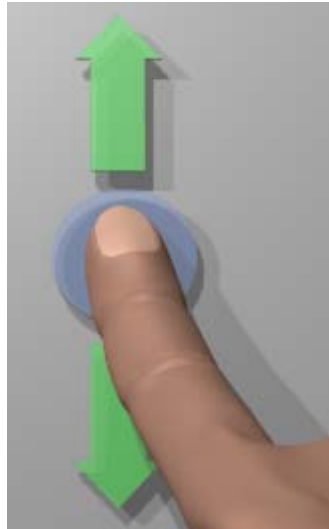


Abbildung 21: Geste für Altitude-Anweisung (eigene Darstellung)

Die Bewegung nach oben führt zu einer Steig-Anweisung, die Bewegung nach unten zu einer Sink-Anweisung. Die weitere Ausführung und Darstellung ist analog zu der der Speed-Anweisung mit dem Unterschied, dass die Bewegung und Darstellung nicht horizontal, sondern vertikal sind.

Heading-Anweisung:

Die Heading-Anweisung wird ausgeführt, indem ein Finger statisch auf dem Touchscreen positioniert wird und ein zweiter Finger eine rotatorische Bewegung um diesen beschreibt. Die Geste kann sowohl mit einer Hand, als auch mit zwei Händen durchgeführt werden. Entscheidend ist, dass nur zwei Finger benutzt werden.

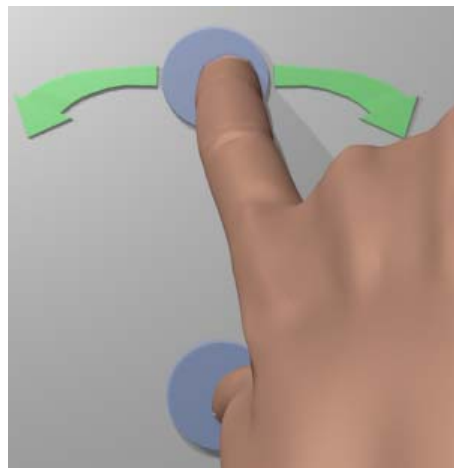


Abbildung 22: Geste für Heading-Anweisung (eigene Darstellung)

Direct-to-Waypoint:

Möchte man ein Flugzeug anweisen, in die Richtung eines Wegpunktes zu fliegen, so muss man einen Finger für ca. 1 Sekunde auf dem Touchscreen ruhig liegen lassen. Daraufhin erscheint auf dem Radarbildschirm ein Cursor und die Wegpunkte werden hervorgehoben (siehe Abbildung 23). Nun kann der Cursor in Richtung des gewünschten Wegpunktes geführt werden, wobei der Cursor sich automatisch immer an den nächstgelegenen Wegpunkt heftet.

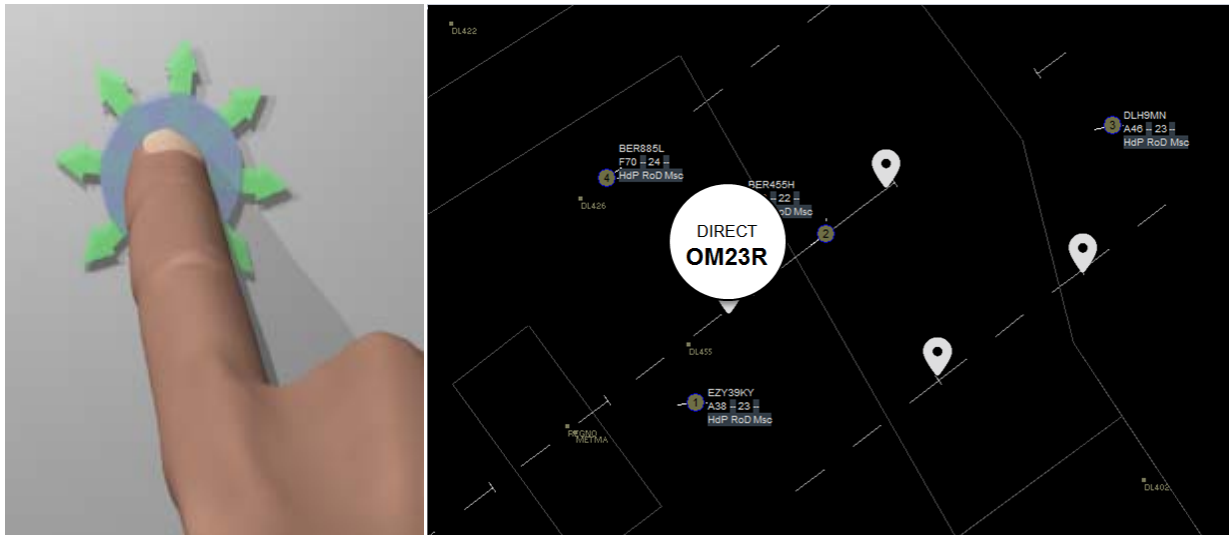


Abbildung 23: Geste für Direct-to-Waypoint (eigene Darstellung) und Darstellung der visuellen Umsetzung [Jauer 2015a]

Abstand zwischen zwei Flugzeugen:

Für eine sichere Anflugstaffelung ist es wichtig zu wissen, wie groß der Abstand zwischen zwei Flugzeugen ist. Dafür wechselt man, über einen der Expresskeys am Rand des Displays, in einen speziellen Modus (GUI-Mode), welcher dadurch gekennzeichnet wird, dass der Bereich des Touchscreens blau wird. Nun berührt man mit zwei Fingern den Touchscreen und es erscheinen zwei Cursor auf dem Radarbildschirm. Diese führt man zu den beiden gewünschten Flugzeugen und unterbricht den Kontakt zwischen den Fingern und dem Touch-Display. Die ausgewählten Flugzeuge sind nun durch eine Linie verbunden, an der man die Entfernung ablesen kann. Benötigt man die Entfernung nicht mehr, wählt man die beiden Flugzeuge erneut aus und die Verbindung verschwindet. Auch hierbei ist es dem Nutzer überlassen, ob er die Geste mit einer Hand oder mit zwei Händen ausführt.

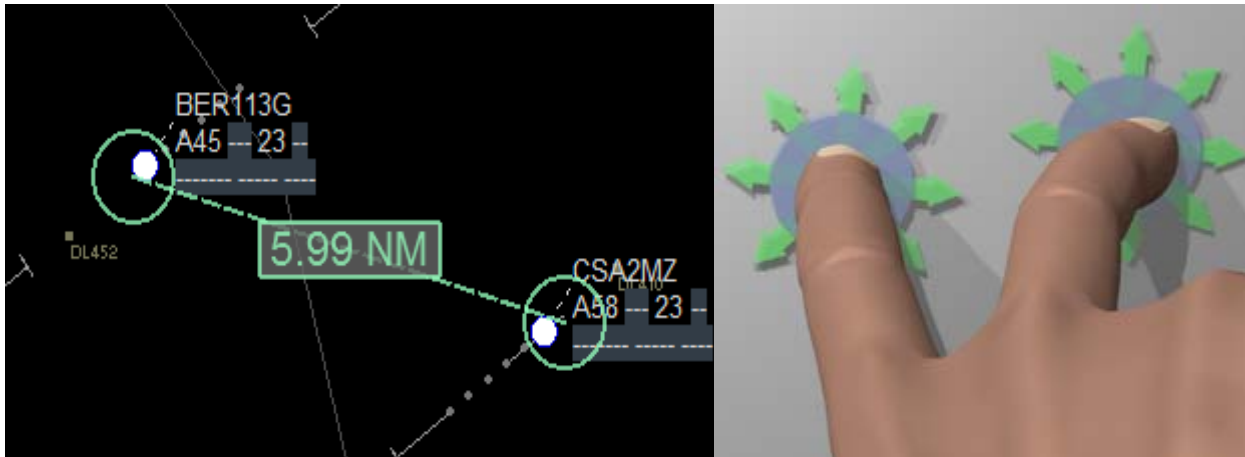


Abbildung 24: Geste um den Abstand zwischen Flugzeugen zu messen (eigene Darstellung) und Screenshot der grafischen Darstellung

Anweisung löschen oder Feld zurücksetzen

Möchte man ein Feld im Flugzeuglabel vollständig zurücksetzen, beginnt man die entsprechende Geste für eine Anweisung, jedoch bevor man absetzt bewegt man den Finger zum unteren Bildschirmrand. Hebt man den Finger vom Touch-Display, so wird das entsprechende Feld im Label geleert.

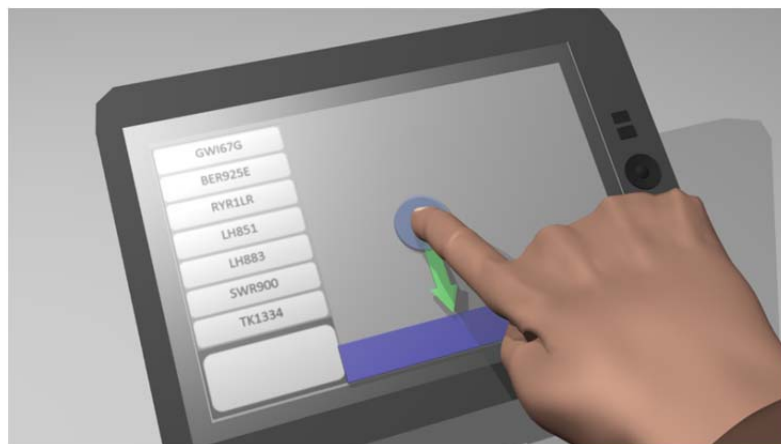


Abbildung 25: Geste um Eingaben zu löschen (eigene Darstellung)

Weitere Anweisungen

Anweisungen, die der Fluglotse nicht so oft benötigt, wurden bis jetzt keine Gesten zugeordnet und werden separat in einer Auswahlliste aufgeführt. Unter der Liste mit den Flugzeugen ist eine Schaltfläche, mit der man in den Modus „Manual Input“ wechseln kann. Nun erscheint die Liste, die in Abbildung 26 zu sehen ist. Hier kann durch eine Tap-Geste das gewünschte Feld ausgewählt werden (z.B. Transition, Holding oder Leave Holding) und gegebenenfalls durch Daten, aus dem Feld rechts davon, spezifiziert werden.

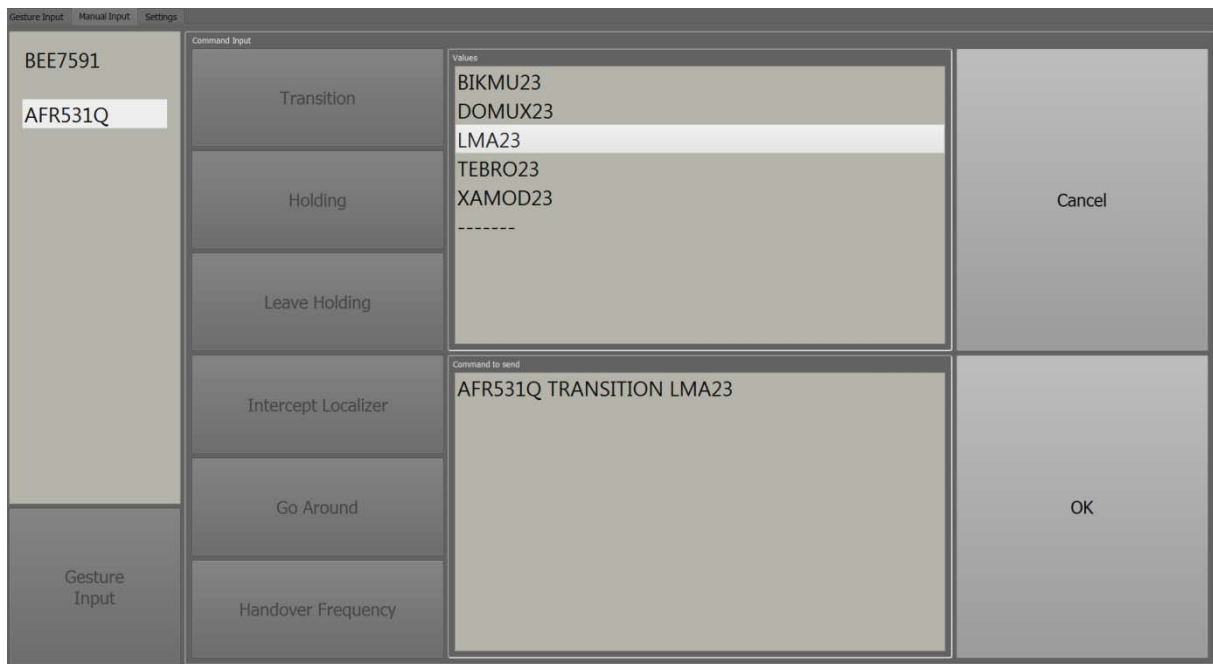


Abbildung 26: Screenshot der Liste mit zusätzlichen Anweisungen

4. Benutzerstudie zur Gestensteuerung des Multi-Touch-HMI

Im Zuge der Validierung „AcListant-Strips“ wurde vom Verfasser dieser Arbeit eine Nutzerstudie, zur Benutzung der Gestensteuerung des Multi-Touch-HMI durchgeführt. Diese Studie setzt sich aus Erkenntnissen zusammen, die durch Beobachtung, Fragebogen und Gesprächen gewonnen wurden.

4.1 Aufbau des Versuchs

Ziel der Studie war es Stärken und Schwächen der aktuellen Gesteneingabe, aus Sicht des Anwenders zu erkennen, um Schlussfolgerungen für die Optimierung des Systems ziehen zu können.

Der Versuch wurde mit vier Fluglotsen, der österreichischen Flugsicherung „Austro Control“, im Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS) des DLRs am Institut für Flugführung in Braunschweig durchgeführt.

Der Versuchsaufbau bestand im Wesentlichen aus einem Fluglotsenarbeitsplatz und zwei Pseudopilotenarbeitsplätzen, um einen realitätsnahen Funkverkehr zu gewährleisten.

Der in Abbildung 27 dargestellte Fluglotsenarbeitsplatz umfasste einen Radarbildschirm, das Multi-Touch-HMI, sowie ein Headset und ein Fußschalter, zur Kommunikation mit den Piloten und für den Spracherkenner „AcListant“. Darüber hinaus stand dem Lotsen ein weiterer Bildschirm zur Verfügung, auf dem er sich eine Übersicht über die in seinen Zuständigkeitsbereich einfliegenden Flugzeuge machen konnte und über die Eingaben in den Spracherkenner. Das Radarbild wurde über die Software „RadarVision“ erzeugt.

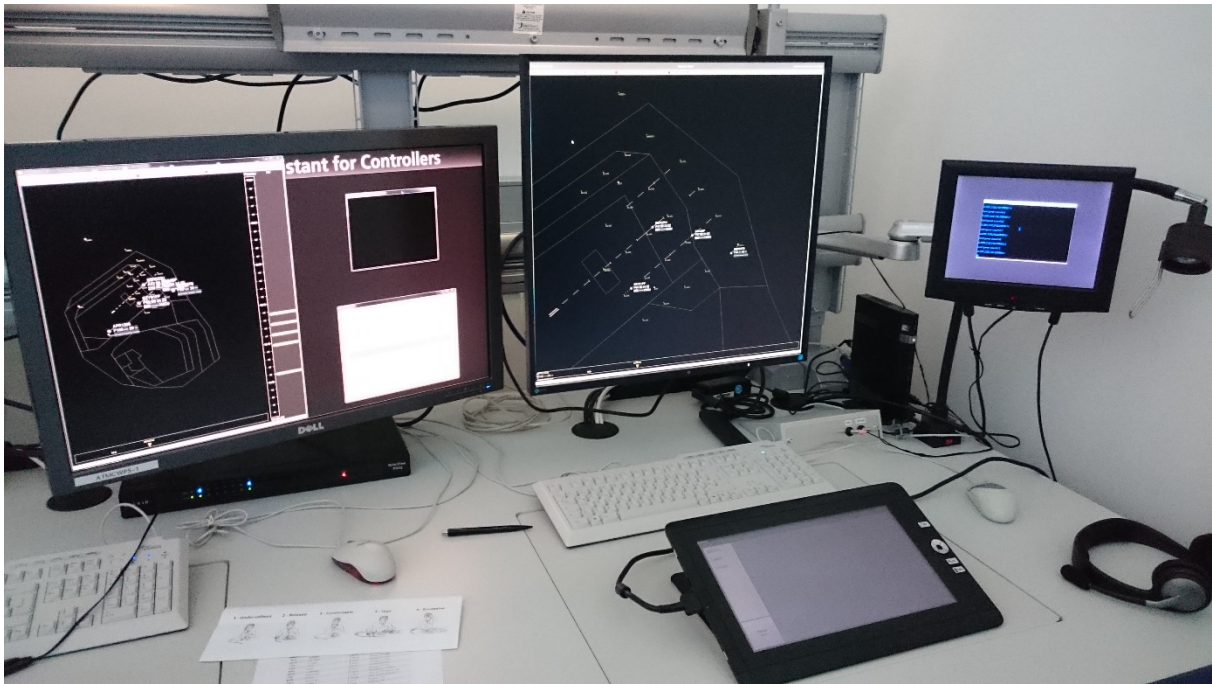


Abbildung 27: Versuchsaufbau (eigene Darstellung)

Da die Fluglotsen für die Validierung „AcListant-Strips“, neben der Eingabe über das Multi-Touch, auch Szenarien mit der Eingabe per Maus und Tastatur durchgeführt haben, konnten sie einen direkten Vergleich zwischen diesen beiden Eingabemodalitäten ziehen.

4.2 Ablauf des Versuchs

Zu Beginn des Versuchs bekamen die Fluglotsen eine Einweisung in das System. Ihnen wurde die Anwendung des Spracherkenners, sowie des Multi-Touch-HMI erklärt. Weiterhin wurden die Funktionen von RadarVision und das Layout der Labels, sowie die dargestellte Luftraumstruktur erklärt.

Nach der Einweisung bekam der Fluglotse eine halbe Stunde Zeit, sich mit dem Arbeitsplatz und der operationellen Eingabe in das Multi-Touch-HMI vertraut zu machen. Dafür wurde ihm ein Szenario, mit geringem Verkehrsaufkommen, zur Verfügung gestellt.

In dem Versuchsszenario wurde ein Feeder-Arbeitsplatz, mit reinem IFR-Verkehr, simuliert. Im Versuchsszenario waren 60 Landungen in der Stunde vorgesehen. Der Fluglotse sollte, durch Sprachanweisungen, die Flugzeuge staffeln, zum ILS-Kurs führen und abschließend an den Tower übergeben. Die Spracherkennung „AcListant“ überträgt die Anweisung auf die Flugzeuglabel im Radarbildschirm. Sollte der Spracherkenner eine Lotsenanweisung falsch oder gar nicht verarbeitet haben, musste die Eingabe manuell über das Multi-Touch-HMI eingegeben werden.

Nach Abschluss des Szenarios gab es eine Nachbesprechung und der Fluglotse füllte den, in Anhang A zusehenden, Fragebogen aus.

4.3 Auswertung des Versuchs

Fragebogen zur Bewertung des Gestensteuerungskonzepts

Abschließend wurden die Probanden aufgefordert, die Gestensteuerung des Multi-Touch-HMI, mit Hilfe des in Anhang A befindlichen Fragebogens, zu bewerten. An dieser Stelle sei angemerkt, dass aufgrund der geringen Anzahl an Versuchsteilnehmern und die relativ kurze Eingewöhnungszeit in die Gestensteuerung, die Ergebnisse der Studie nur als Trend zu verstehen sind, um potenzielle Verbesserungen abzuleiten und nicht als endgültige Bewertung der Gesten. Nach Aussagen eines der Probanden ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass neue Systeme von Fluglotsen zu Beginn oft kritisch gesehen werden. Der Umgang mit dem neuen System muss erst gelernt und geübt werden und kostet daher in der Benutzung meist Zeit, was der Fluglotse als ineffizient wahrnimmt.

Die erste Frage diente zur Bestimmung der Händigkeit der Probanden, wobei alle vier Fluglotsen angaben Rechtshänder zu sein. Auf die Frage, ob sie bereits vorher schon einmal mit dem Multi-Touch-HMI gearbeitet haben, gaben alle vier Versuchsteilnehmer die Antwort „nein“. Als Nächstes wurde abgefragt, ob bei der Eingabe von Gesten bestimmte Finger bevorzugt wurden. Zwei Probanden beantworteten die Frage mit „nein“, wobei bei der Beobachtung, bei beiden, eine klare Tendenz zur Benutzung des Zeigefingers, zur Auswahl von Flugzeugen und bei der Durchführung von Gesten, zu erkennen war. Einer der Probanden benutzte sehr häufig den Daumen, um Eingaben zu bestätigen. Diese Kombination, aus Daumen und Zeigefinger, wurde auch von einem der Probanden als bevorzugte Eingabefinger angegeben. Der vierte Proband gab an den Mittelfinger bevorzugt verwendet zu haben.

Da es zur Bestätigung der Eingabe zwei Möglichkeiten gibt, wurde in dem Fragebogen gefragt, welche Variante bevorzugt wurde. Zwei der Versuchsteilnehmer gaben an, den Touchscreen zur Bestätigung bevorzugt genutzt zu haben und gaben als Begründung an, dass man nicht hinschauen muss, um die Eingabe zu bestätigen. Negativ wurde angemerkt, dass die Knöpfe zu klein seien und zu dicht beieinanderliegen, sodass es Zeit kostet, den richtigen Knopf auszuwählen.

Einer der Fluglotsen bestätigte die Eingaben lieber über die Knöpfe, da er so ein haptisches Feedback hatte und die Hand an dieser Stelle liegen lassen konnte. Der vierte Fluglotse benutzte beide Varianten und sah keine Vor- oder Nachteile zwischen den beiden.

Der nächste Abschnitt des Fragebogens zielte darauf ab, die bereits implementierten Gesten, zu bewerten. Dabei sollte bewertet werden, ob die Geste „leicht zu erlernen“, „intuitiv“, „passend“, „von der Bewegung her umständlich“, „zeitintensiv“ und „gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten“ ist. Hier konnte in vier Abstufungen, zwischen „stimme nicht zu“ bis „stimme zu“, gewählt werden.

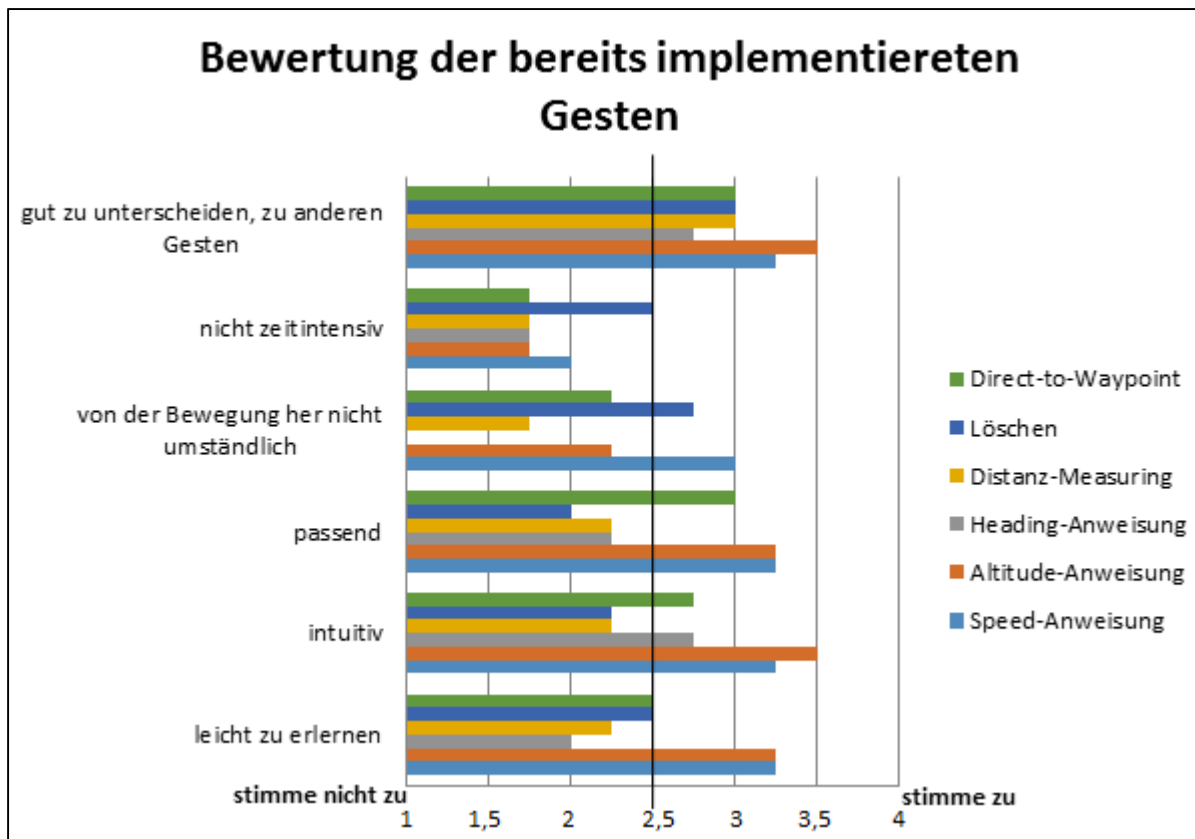


Abbildung 28: Auswertung der Benutzerstudie: Bewertung der bereits implementierten Gesten

Die Gesten für die Speed-Anweisung und die Altitude-Anweisung wurden weitestgehend positiv bewertet. Jedoch gaben bei der Speed-Anweisung zwei der Probanden an, dass die Eingabe zeitintensiv ist. Bei der Anweisung für die Altitude, waren es sogar drei Probanden.

Die bereits beobachteten Schwierigkeiten, bei der Eingabe des Heading und der Distanzmessung zwischen zwei Flugzeugen, spiegeln sich auch in der Bewertung wieder. Obwohl die Geste für die Heading-Anweisung tendenziell als intuitiv bewertet wurde, gaben drei der Fluglotsen an, dass die Geste nicht leicht zu erlernen sei und von der Bewegung her umständlich. Daraus resultiert auch, dass diese Geste als sehr zeitintensiv wahrgenommen wird. Auch die Bewegung der Geste zur Distanzmessung wurde eher als umständlich und zeitintensiv empfunden. Jedoch gab hier zumindest die Hälfte der Versuchsteilnehmer an, dass diese leicht zu erlernen sei. Als Alternative wurde vorgeschlagen sich daran zu orientieren, wie die Eingabe aktuell mit der Maus ausgewählt wird. Dies passiert, indem die Flugzeuge, zwischen denen die Distanz angezeigt werden soll, nacheinander ausgewählt werden. Dadurch wird die Hand-Augen-Koordination vereinfacht und die durchzuführende Bewegung verliert an Komplexität.

Eine Geste, die so gut wie gar keine Beachtung bei den Fluglotsen gefunden hat, ist die wisch Bewegung zum unteren Bildschirmrand, um eine Anweisung abubrechen, oder einen Eintrag zurück zusetzen. Die Geste wurde tendenziell als nicht intuitiv und unpassend bewertet. Um eine Geste abubrechen wurde in den meisten Fällen die rote Schaltfläche gedrückt, oder bei einer falschen Eingabe die Anweisungsgeste wiederholt und so korrigiert. Als letzte, der bereits implementierten Gesten, wurde die „direct to waypoint“-Geste bewertet. Diese

wurde in den Punkten „leicht zu erlernen“, „intuitiv“ und „passend“ überwiegend positiv bewertet, jedoch gaben drei der Fluglotsen an, dass die Geste zeitintensiv ist.

Um sich ein Bild davon zu machen, welche Interaktionsmöglichkeiten die Fluglotsen für notwendig erachten und so ein möglichst vollständiges Gesten-Set zu erstellen, wurden die Fluglotsen befragt, welche weiteren Anweisungen noch durch Gesten ersetzbar wären. Hierbei sind zwei Dinge zu beachten, jeder Fluglotse hat seine eigene Art die Luftfahrzeuge zu navigieren und erteilt dem entsprechend unterschiedliche Anweisungen. Auf der anderen Seite muss versucht werden ein Gesten-Set zu erstellen, welches möglichst alle Eingaben abdeckt, umso zu gewährleisten, dass jeder Fluglotse seine Art der Navigation durchführen kann.

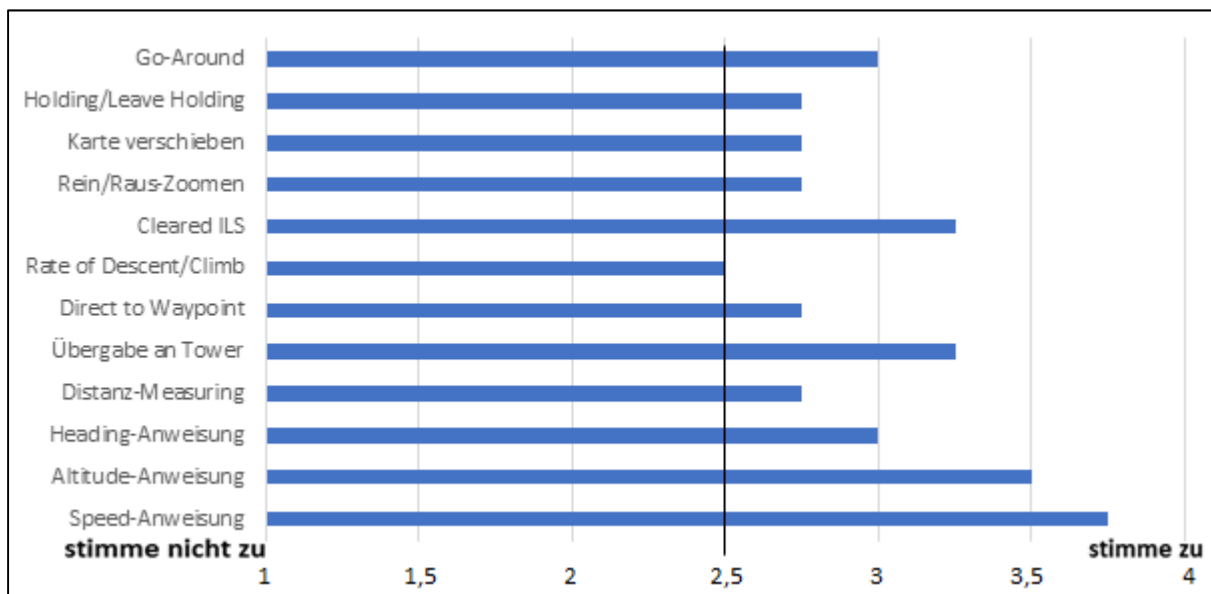


Abbildung 29: Auswertung der Benutzerstudie: Welche Anweisungen sollten als Geste implementiert werden?

Drei der vier befragten Lotsen gaben an, dass es sinnvoll ist für die Eingabe von Speed, Altitude, Heading, Distanzmessung, Übergaben an den Tower und Cleared ILS eine Gestensteuerung zu implementieren. Bei der Nachbesprechung stellte sich aber heraus, dass ebenfalls drei von vier der Lotsen die Knöpfe, für Cleared ILS und Übergabe an den Tower, für ausreichend empfanden. Bei den anderen abgefragten Anweisungen (siehe Fragebogen im Anhang A) hielten jeweils zwei der Probanden die Etablierung einer Geste für tendenziell sinnvoll, bzw. nicht sinnvoll. Durch die Beobachtung und die Nachbesprechung wurde festgestellt, dass es sinnvoll wäre eine Geste zu implementieren, um die Label der Flugzeuge zu verschieben. In dem Versuch kam es vor, dass Informationen in den Labels von der Verbindungslinie der Distanzanzeige verdeckt wurden.

Der nächste Teil des Fragebogens diente zur Bewertung von möglichen Gestenkonzepten. Die Konzepte sind im Fragebogen zu sehen. Als erstes wurde der Konzeptvorschlag für eine Go-Around Geste bewertet. Drei Fluglotsen gaben an, dass die Bewegung leicht zu erlernen sei und nicht kompliziert bei der Durchführung. Auch hielten sie die Geste für nicht sehr zeitintensiv. Jedoch gab es bei den Punkten „intuitiv“ und „passend“ keine eindeutige Tendenz. Es wurde angemerkt, dass die Geste intuitiver wäre, wenn die Bewegungsrichtung der der Landebahnrichtung angepasst wäre.

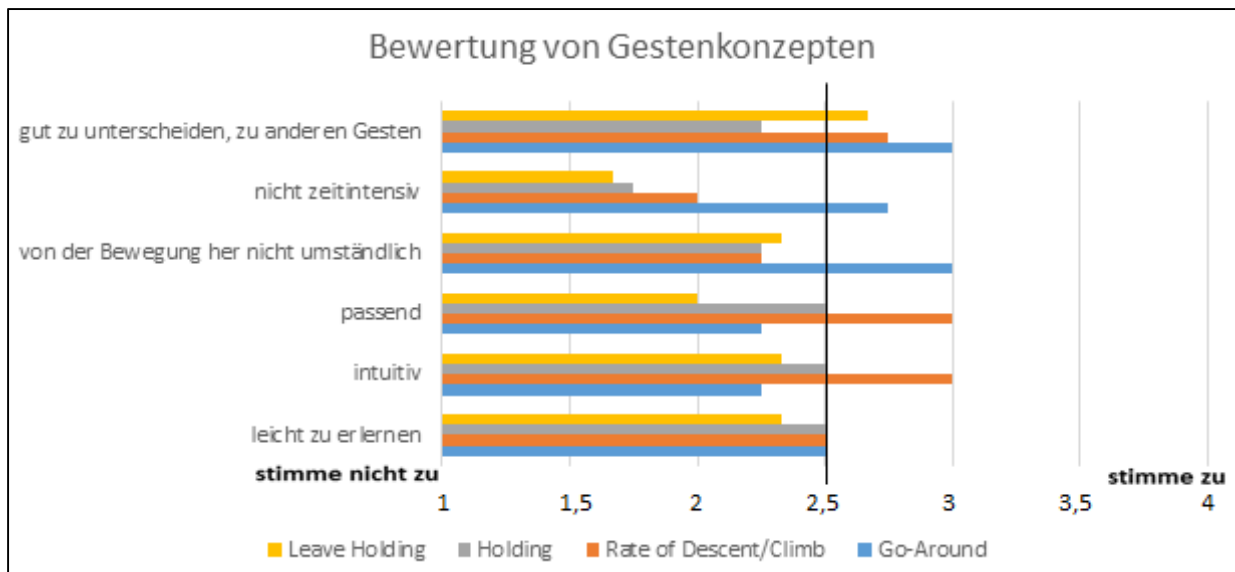


Abbildung 30: Auswertung der Benutzerstudie: Gestenkonzepte

Das Konzept für eine „rate of descent/climb“ wurde überwiegend positiv bewertet, jedoch war die Ähnlichkeit zu der „Altitude“ Geste ein Kritikpunkt. Bei der Nachbesprechung zur Geste für das „Holding“ wurde deutlich, dass sich die Fluglotsen die Umsetzung nur schwer vorstellen können. Dies erkennt man auch in den Angaben im Fragebogen, es lässt sich keine eindeutige Tendenz ablesen.

Ähnlich sieht es auch bei der Geste zum Verlassen des Holding aus. Zwei gaben an, dass die Geste Leicht zu erlernen ist. Tendenziell wird die Geste aber als nicht intuitiv und unpassend angesehen. Um eine genauere Aussage treffen zu können, müssten die Gesten angewendet werden können und von einer größeren Stichprobengruppe getestet werden.

Abschließend konnten die Fluglotsen, noch eigene Anmerkungen formulieren. Hier wurde als größter Kritikpunkt die Darstellung der Flugzeugliste angeführt. Es dauert zu lange die Flugzeuge zu finden und auszuwählen. Darüber hinaus wäre es, nach Angaben eines Fluglotsen, von Vorteil, das zuletzt angesprochene Flugzeug zu markieren, um dieses schnell erneut auswählen zu können.

4.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse

- Die Fluglotsen hatten Probleme mit den Gesten für die Heading-Anweisung und bei der Geste für die Auswahl zweier Flugzeuge zur Distanzmessung. Hier wäre es sinnvoll alternative Gesten zu überprüfen.
- Weitere mögliche Funktionen, die durch Gesten realisiert werden könnten: „Rate of Descent/Climb“, „Holding/Leave Holding“, „Go-Around“, „Rein-/Raus-Zoomen“, „Karte verschieben“.
- Für die Anweisungen: „Übergabe an Tower“ und „Cleared ILS“ sind keine Gesten notwendig, da die Eingabe über die Expresskeys ausreichend ist.
- Um zu gewährleisten, dass die Flugzeuglabel immer gut lesbar sind, ist es sinnvoll eine Geste zum Verschieben der Label zu implementieren.
- Die Flugzeugliste auf dem Multi-Touch-Interface muss optimiert werden, um eine schnellere Auswahl eines Flugzeuges zu ermöglichen.
- Wenn der Spracherkenner die Anweisung an ein Flugzeug versteht, sollte dieses farblich in der Flugzeugliste, auf dem Multi-Touch-Interface, hervorgehoben werden. Darüber hinaus sollte das Flugzeug auch nach Bestätigung der Eingabe markiert bleiben, bis ein anderes Flugzeug ausgewählt wurde. Damit hat der Fluglotse die Möglichkeit das zuletzt angesprochene Flugzeug schnell erneut auszuwählen. Andersherum sollte das Flugzeuglabel auf dem Radarbildschirm markiert werden, wenn ein Flugzeug manuell aus der Liste ausgewählt wird, um den Fluglotsen eine bessere Orientierung zu ermöglichen.
- Es wäre sinnvoll dem Fluglotsen ein Feedback nach der Bestätigung seiner Eingaben zu geben, bzw. ihn darauf aufmerksam zu machen, dass er die Eingabe noch nicht Bestätigt hat.
- Da AcListant sehr gut funktioniert waren die beiden meist genutzten Gesten die Bestätigung und die Distanzmessung.

5. Verbesserungsansätze für die Gestensteuerung

Durch die Beobachtung und Befragung wurden folgende drei Gestaltungskriterien für die Gestaltung von Gesten deutlich:

1. Technische Unterscheidbarkeit: Die Gesten müssen so gestaltet werden, dass das System sie gut voneinander unterscheiden kann. So können Fehler bei einer ungenauen Durchführung des Benutzers verhindert werden.
2. Unterscheidbarkeit für den Menschen: Sind sich zwei Gesten zu ähnlich kann dies bei dem Menschen zu Verwechslungen führen.
3. Motorische und mentale Durchführbarkeit: Die Gesten müssen so gestaltet werden, dass sie für den Menschen ohne große Anstrengungen durchgeführt werden können.

Der letzte der drei Punkte führte dazu, dass die Gesten für die „Heading-Anweisung“ und die „Distanzmessung“ zwar als grundsätzlich intuitiv bewertet wurden, jedoch von der Bewegung her umständlich und damit gefühlt auch sehr zeitintensiv.

Geste für die Heading-Anweisung

Bei der Gestaltung der Geste für die Heading-Anweisung wurde eine Rotationsbewegung gewählt, da sich dies mit der Bewegung des Flugzeuges deckt und somit intuitiv ist. Bei der derzeitigen Umsetzung kommt es jedoch bei der motorischen Bewegung zu Schwierigkeiten. Wird die Geste mit einer Hand durchgeführt, so rotiert ein Finger um einen anderen. Bei den meisten Studienteilnehmern wurde der Zeigefinger rotatorisch um den Daumen bewegt. Diese Bewegung führt zu einer Beanspruchung und Verdrehung vom Handgelenk bis zur Schulter, wodurch die Bewegung schnell als unangenehm wahrgenommen wird. Der mögliche Bewegungsradius unterscheidet sich stark bei jedem Menschen und nimmt mit dem Alter ab. Zudem beeinflusst der Winkel zwischen Arm und Multi-Touch-Interface, wie gut die Bewegung durchführbar ist. Wird diese Geste mit zwei Händen durchgeführt besteht die gerade beschriebene Problematik nicht. Möchte man jedoch den Kurskreis eins zu eins auf die Geste übertragen, so sind sich die beiden Hände schnell gegenseitig im Weg und es muss gegebenenfalls umgegriffen werden.

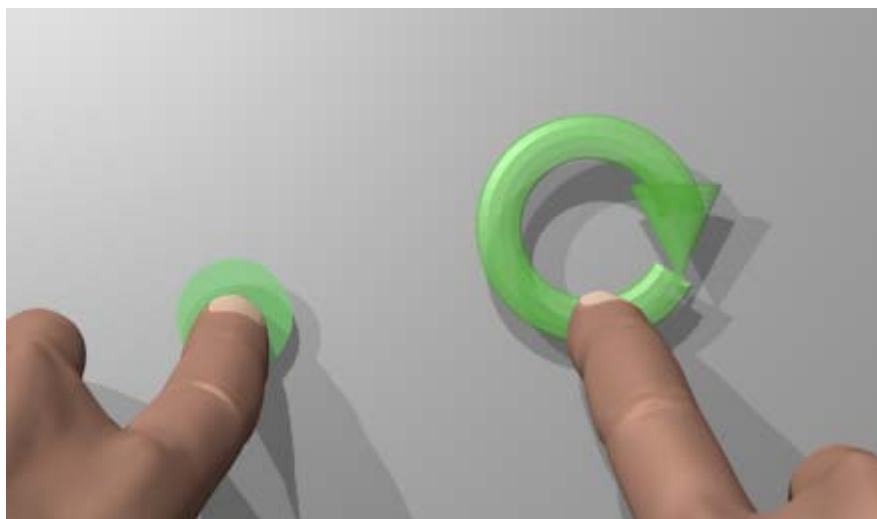


Abbildung 31: Konzept für eine alternative Geste für die Heading-Anweisung (eigene Darstellung)

Eine Alternative wäre es die Definition aufzuheben, dass ein Finger um einen anderen rotieren muss. Entkoppelt man die beiden Finger voneinander, bestehen keine motorischen Einschränkungen mehr. Die Geste könnte dann wie folgt aussehen: Ein Finger wird statisch auf den Bildschirm gelegt, während der zweite Finger eine entsprechende Kreisbewegung um einen fiktiven beliebigen Punkt beschreibt. Dies kann sowohl mit einer Hand als auch mit zwei Händen ausgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre es darauf zu verzichten den Kurskreis eins zu eins auf die Geste zu übertragen. Verändert sich das Heading zum Beispiel mit einem Faktor 3:1 zur Bewegung des Fingers, so reduziert sich der benötigte Bewegungsradius auf einen Bereich, der ohne motorische Einschränkungen ausführbar wäre. Dies hätte jedoch den Nachteil, dass die Geste nicht mehr so intuitiv ist und somit längere Eingewöhnungszeit benötigt.

Geste für die Distanzmessung

Soll die Distanz zwischen zwei Flugzeugen angezeigt werden, muss man bei dem aktuellen Konzept zwei Finger auf das Touch-Display legen, bis zwei Cursor auf dem Radarbildschirm erscheinen. Diese Cursor müssen anschließend zu den Flugzeugen geführt werden, zwischen denen die Distanz angezeigt werden soll. Bei der Ausführung gibt es zwei Aspekte, die bei der Benutzerstudie dazu führten, dass die Geste als umständlich und zeitintensiv bewertet wurde. Wird diese Geste mit einer Hand ausgeführt, kann sie schnell sehr umständlich werden. Ist der Abstand zwischen den Flugzeugen zu groß oder der Winkel zwischen ihnen ungünstig führt das dazu, dass die Geste motorisch Schwierige durchzuführen ist. Darüber hinaus spielt hier die Hand-Augen-Koordination eine große Rolle. Man versucht zwei sich bewegende Punkte gleichzeitig auszuwählen, was eine nicht zu vernachlässigende mentale Beanspruchung bedeutet.

Wie bereits in Kapitel 4.3 beschrieben wurde, äußerte einer der Fluglotsen, dass die Auswahl der Flugzeuge wie bei der Bedienung mit der Maus ablaufen könnte. Die Flugzeuge werden nacheinander mit dem Cursor ausgewählt. Dieser Vorschlag hat den Vorteil, dass sich der Fluglotse immer nur auf ein Flugzeug konzentrieren muss und der Bewegungsablauf stark vereinfacht wird. Zwar würde dies einen zeitlichen Mehraufwand bedeuten, da jedes Flugzeug einzeln ausgewählt werden muss, jedoch könnte dies durch den vereinfachten Ablauf ausgeglichen werden. Dies müsste in einer Validierung überprüft werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Umgewöhnung für den Fluglotsen minimal wäre. Alternativ könnte die Auswahl der Flugzeuge auch über die Flugzeugleiste, am Rand des Multi-Touch-Interface, geschehen.

Geste für die Verschiebung von Flugzeuglabeln

Das Flugzeuglabel enthält alle relevanten Daten die der Fluglotse benötigt um die Flugzeuge zu navigieren. Daher ist es wichtig, dass die Label stets gut zu lesen sind. Dies könnte auf der einen Seite voll automatisiert durch Programmierung erfolgen oder auf der anderen Seite durch die Einführung einer Geste, mit der der Fluglotse in der Lage ist, sich die Label selber anzuordnen. Eine Umsetzungsmöglichkeit wäre es, das entsprechende Flugzeug aus der Flugzeugliste auszuwählen und gedrückt zu halten, während mit der anderen Hand das Label mit einem Finger auf der Touch-Fläche verschoben wird. Durch das gedrückt halten des Flugzeuges unterscheidet sich diese Geste, sowohl für das Multi-Touch als auch für den Menschen, gut von anderen Gesten und ist motorisch und mental einfach durchzuführen.

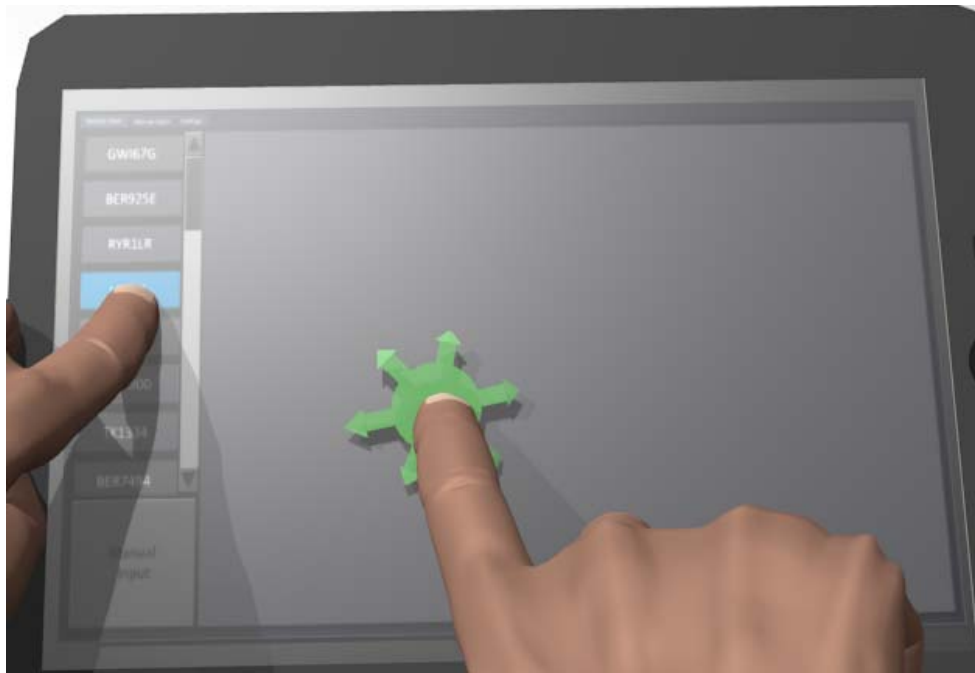


Abbildung 32: Konzept für eine mögliche Geste um die Label zu verschieben (eigene Darstellung)

Anpassen des Radarbildes: Rein-/Raus-Zooms und Karte verschieben

Um dem Fluglotsen die Möglichkeit zu geben den Radarbildausschnitt individuell anzupassen müsste eine Geste für das Rein- und Raus-Zoomen, sowie für das Verschieben der Karte implementiert werden. Da das Radarbild nicht allzu oft verändert wird, empfiehlt es sich diese Gesten im GUI-Mode anzulegen, in den man über einen der Expresskeys wechseln kann. So wird verhindert, dass das Bild ausversehen verändert wird. Für das Rein- und Raus-Zoomen eignet sich die Pinch-Geste (siehe Abbildung 10) mit zwei oder drei Fingern. Diese Geste ist heutzutage auf vielen Handys und Tablets vertreten und muss daher von den meisten Fluglotsen nicht erst neu erlernt werden. Um die Karte zu verschieben, könnte ein Multi Drag mit zwei oder mehr Fingern ausgeführt werden. Die Anzahl der Finger ist abhängig davon, welche Gesten noch implementiert werden, um eine Unterscheidung zu gewährleisten.

Für die nachfolgenden vier Anweisungen wurden bereits potentielle Gesten in der Benutzerstudie durch Fluglotsen bewertet. Für eine genauere Beurteilung müsste eine erneute Untersuchung und Befragung nach der Implementierung dieser Gesten durchgeführt werden.

Rate of Descent/Climb

Der Konzeptvorschlag für die Rate of Descent/Climb Anweisung ist an die Geste für die Altitude-Anweisung angelehnt, um die kognitive Verknüpfung zu erleichtern. Es wird mit zwei Fingern eine Drag-Bewegung nach oben oder unten durchgeführt.

Holding /Leave Holding

Bei der Anweisung für Holding und Leave Holding wurde ebenfalls eine Geste gesucht, die sich gut in das bisherige Gesten-Set einordnet. Dies soll den Aufwand, die neuen Gesten zu lernen und sich in das System einzuarbeiten, gering halten. Ein mögliches Konzept ist, dass ähnlich wie bei der Direct-to-Anweisung ein Fixpunkt ausgewählt wird, jedoch mit zwei Fingern, anstatt mit nur einem.

Go-Around

Die Geste für die Anweisung eines Go-Around muss möglichst einfach und intuitiv gehalten werden, da diese Anweisung selten und meist in Stresssituationen gebraucht wird. Eine Möglichkeit wäre es, die Bewegung des Flugzeuges auf die Geste zu übertragen. Mit einem Finger wird eine waagerechte Drag-Bewegung durchgeführt, die am Ende nach oben gezogen wird.

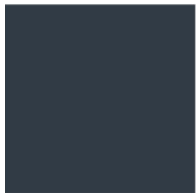
6. Entwicklung eines geeigneten Farbschemas

Auf Grundlage der in Kapitel 2.4.3 beschriebenen Gestaltungskriterien wird in diesem Kapitel ein geeignetes Farbschema entwickelt. Das Ziel dieses Farbschemas ist es, die Informationen auf dem Multi-Touch-Interface so zu visualisieren, dass die Head-down Zeit auf ein Minimum reduziert werden kann. Zu beachten ist, dass das Multi-Touch-Interface nicht separat benutzt wird, sondern in den Arbeitsprozess des Fluglotsen eingebunden wird und somit das bereits bestehende Radardisplay in den Gestaltungsprozess mit einbezogen werden muss.

6.1 Aktuelles Farbschema des Radarbildschirms



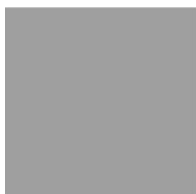
R: 0 Das Radarbild wird in einer Negativdarstellung präsentiert,
G: 0 wodurch der Hintergrund vollständig schwarz ist. Die Schrift der
B: 0 Flugzeuglabel, sowie der Positionspunkt werden in weiß dargestellt, um durch einen hohen Kontrast die Lesbarkeit zu gewährleisten.



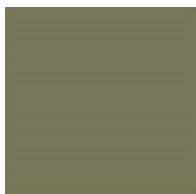
R: 50 Um dem Fluglotsen die Zuordnung der Werte im Flugzeuglabel
G: 60 zu erleichtern sind die Soll-Werte und die zweite Zeile durch
B: 70 einen dunklen Grauton mit leichtem Blaustich unterlegt.



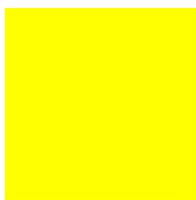
R: 80 Die Luftraumstruktur ist durch einen weiteren Grauton
G: 80 dargestellt, der auf dem schwarzen Hintergrund zwar gut zu
B: 80 erkennen ist, sich aber nicht in den Vordergrund drängt.



R: 160 Der ILS-Track, sowie die Transition ziehen hingegen durch den
G: 160 helleren Grauton mehr Aufmerksamkeit auf sich und grenzen
B: 160 sich so von den Luftbereichsgrenzen deutlich ab.



R: 120 Die Fixpunkte, welche zwar lesbar sein müssen, aber aufgrund
G: 120 von ihrer Anzahl schnell dazu führen können das es auf dem
B: 90 Bildschirm unübersichtlich wird, sind in einem Khakiton gehalten.



R: 255 Erkennt der Spracherkenner eine Anweisung an ein Flugzeug,
G: 255 oder wird diese manuell über das Multi-Touch-Interface
B: 0 eingegeben, so wird die Änderung, bis sie bestätigt wurde, in gelber Schrift im Flugzeuglabel angezeigt. Dies dient der Signalwirkung um den Fluglotsen darauf aufmerksam zu machen, dass er etwas in das System eingegeben hat.



- R: 137 Lässt sich der Fluglotse die Entfernung von zwei Flugzeugen anzeigen, so werden die ausgewählten Flugzeuge durch eine grüne Linie verbunden und die Entfernung in grüner Schrift darüber angezeigt.
- G: 196
- B: 134

Abbildung 33: Farbschema des Radarbildschirms (eigene Darstellung)

6.2 Farbschemakonzept des Multi-Touch-Interface

Abbildung 34 veranschaulicht das Farbschemakonzept für das Multi-Touch-Interface. Die Zielsetzung ist es, dass der Fluglotse in kürzester Zeit die benötigten Informationen auf dem Multi-Touch-Interface findet und somit nur eine minimale Head-Down Zeit nötig ist. Aus diesem Grund wurde auf Farbenvielfalt verzichtet, um die relevanten Informationen effektiv hervorheben zu können. Insgesamt wurde bei dem Farbschema darauf geachtet, dass ein geringer Kontrast zum Radarbildschirm besteht, um die benötigte Adaption gering zu halten.

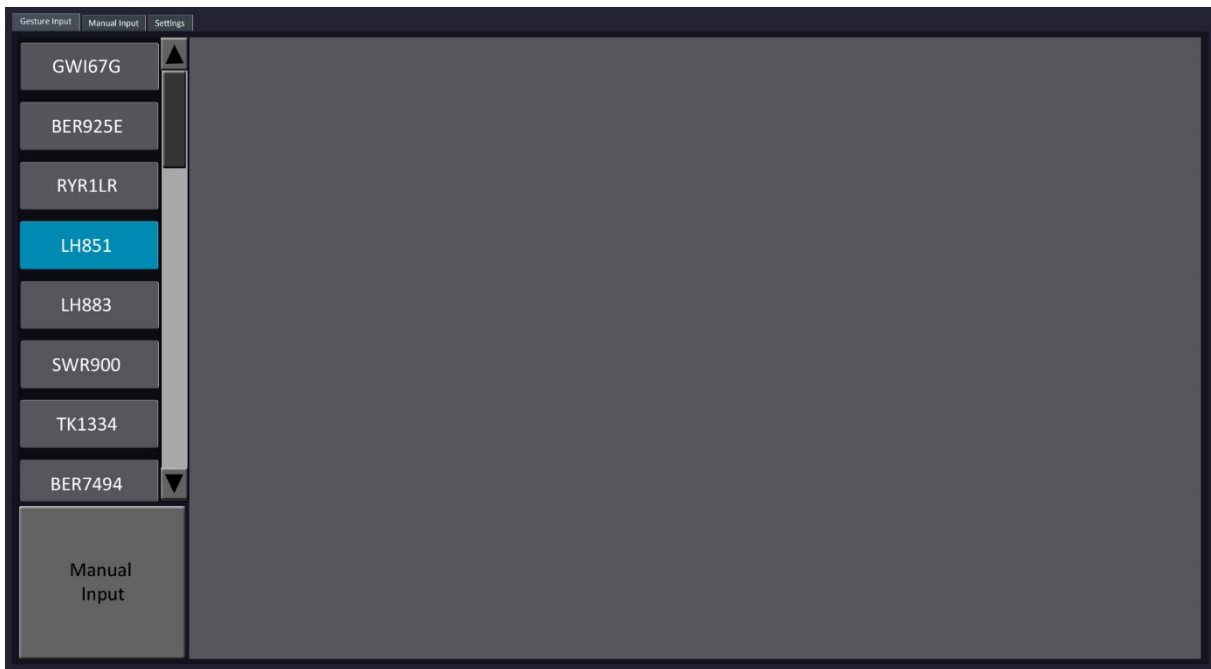


Abbildung 34: Farbschemakonzept für das Multi-Touch-Interface

Wie in der Benutzerstudie festgestellt wurde, entsteht die längste Head-Down-Zeit bei der Auswahl eines Flugzeuges aus der Liste. Durch eine eindeutige Separierung der einzelnen Flugzeugnamen, soll die selektive Wahrnehmung vereinfacht werden. Aufgrund der Einheitlichkeit der Kästchen werden die Flugzeugnamen noch als Liste wahrgenommen, jedoch fällt es dem Auge leichter die einzelnen Namen zu fixieren und sich zu orientieren. Die Erkenntnis, dass das zuletzt angesprochene Flugzeug in der Liste hervorgehoben werden sollte, wurde durch einen Blauton mit hoher Leuchtdichte realisiert. Dieser Farbton wurde gewählt, da er sich eindeutig von seinem Umfeld hervorhebt und somit bevorzugt wahrgenommen wird. Dieses Phänomen ist auch bekannt unter dem „Gesetz der Prägnanzpräferenz“ [Vgl. Urbas, Ziegler, Pfeffer 2013/14, S.7]. Darüber hinaus beschrieben

Shive und Francis 2008, dass die Reaktionszeit zur Selektierung von blauen Zielen kürzer ist, als für andere Farben [Vgl. Shive, Francis 2008].



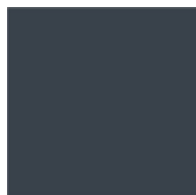
R: 12 Die Liste mit den Flugzeugen, für die der Fluglotse gerade
G: 12 zuständig ist, wurde mit einem sehr dunklen Grauton hinterlegt,
B: 15 um die einzelnen Kästchen mit den Flugzeugnamen stärker
voneinander zu trennen.



R: 20 Um den Rahmen vom relevanten Teil des Multi-Touch-Interface
G: 20 zu trennen, wurde dieser mit einem dunkelgrauen Rand
B: 30 abgegrenzt.



R: 35 Der Rahmen des Interfaces ist in dunklem Grauton gehalten.
G: 35
B: 50



R: 55 Die drei Tab-Felder werden Farblich leicht vom Rahmen abge-
G: 65 grenzt. Da diese während des Betriebs jedoch nur selten genutzt
B: 75 werden ist der Kontrast zwischen Feld und Rahme gering
gehalten, um so nicht von den wesentlichen Informationen ab zu
lenken.



R: 70 Durch eine hellere Nuance wird der zurzeit ausgewählte Tab
G: 80 markiert.
B: 90



R: 85 Die relevanten Touch-Flächen wurden durch einen einheitlichen
G: 85 Grauton visualisiert. Zu diesen Flächen gehören die Fläche zur
B: 90 Eingabe der Gesten, sowie die Kästchen mit den Flugzeugnamen.
Der Grauton ist gezielt heller als die anderen gewählt worden,
um den optischen Eindruck zu vermitteln, dass sich diese Flächen
im Vordergrund befinden. Dennoch ist der Kontrast zwischen der
Fläche und der weißen Schrift groß genug, um eine gute
Lesbarkeit zu gewährleisten.



R: 169 Für die Scrollbar der Flugzeugleiste wurde ein hellerer Grauton
G: 169 gewählt, der die Liste mit den Flugzeugen räumlich von der
B: 169 Fläche für die Gesteneingabe trennt.



R: 0 Zur besseren Selektierung des zuletzt angesprochenen Flugzeuges, wird dieses in der Liste durch einen Blauton mit hoher
G: 140 Leuchtdichte hervorgehoben.
B: 180

6.3 Visuelles Feedback auf dem Radarbildschirm

Wie in Kapitel 3.2.1 bereits beschrieben wurde, wird nach einer Lotseneingabe über den Spracherkenner das entsprechende Flugzeuglabel weiß umrandet und die entsprechenden Daten in gelber Schrift in den Feldern der Soll-Werte angezeigt. Anschließend muss der Fluglotse die Werte auf dem Multi-Touch-Interface bestätigen und die Schrift der Daten wird weiß (siehe Abbildung 35). Während der Benutzerstudie kam es wiederholt vor, dass die Fluglotsen den Bestätigungsvorgang vergaßen. Um diesen Fehler zu vermeiden und dem Fluglotsen darauf aufmerksam zu machen wo er sich im Arbeitsprozess gerade befindet, kann mit einem visuellen Feedback gearbeitet werden.

Aktuelle Version



Konzeptvorschlag



Abbildung 35: Visuelle Ausgabe der Lotseneingabe auf dem Radarbildschirm (oben aktuelle Version, unten Konzeptvorschlag) (eigene Darstellung)

In Abbildung 35 ist dargestellt wie ein visuelles Feedback für den Eingabevorgang aussehen kann. Erkennt der Spracherkenner eine Anweisung an ein Flugzeug, so wird das Flugzeuglabel gelb umrandet und die entsprechenden Einträge erscheinen in gelber Schrift. Durch die Signalwirkung der Farbe Gelb wird das Label deutlicher wahrgenommen, als mit der weißen

Umrandung. Dem Fluglotsen wird dadurch mitgeteilt, dass für das entsprechende Flugzeug gerade eine Anweisung erkannt wurde und diese noch bestätigt werden muss. Bestätigt der Lotse die Eingabe wird das Label für kurze Zeit grün umrandet und die Schrift der Einträge färbt sich weiß. Dies bietet dem Fluglotsen eine visuelle Bestätigung, dass er die richtige Fläche bzw. Knopf gedrückt hat und der Eingabevorgang für diese Anweisung abgeschlossen ist. Sollte er die Anweisung verwerfen wollen, weil sie falsch erkannt wurde oder er sich vertan hat, so wird das Label kurz rot umrandet und die Felder zurückgesetzt.

7. Validierung des Farbschemas

Ziel der Validierung war es, den Einfluss der farblichen Gestaltung des Interface, auf die Reaktionszeit der Probanden zu ermitteln. Hierzu wurden zwei Hypothesen aufgestellt:

1. Die gelbe Umrandung der Flugzeuglabel zieht schneller die Aufmerksamkeit des Probanden auf sich, als eine weiße Umrandung und verringert somit die Reaktionszeit in dem Auswahlprozess.
2. Das neue Farbschemakonzept ermöglicht eine bessere Orientierung in der Flugzeugliste und hat damit einen positiven Einfluss auf die Reaktionszeit.

7.1 Aufbau und Ablauf des Versuchs

Für den Versuch wurde von mir ein Programm geschrieben (siehe Anhang C), dass die Oberfläche des Interface simuliert. Der Versuchsaufbau bestand aus zwei Bildschirmen sowie einer Maus als Eingabegerät. Auf dem einen Bildschirm wurde den Probanden eine Radarbildschirm-simulation präsentiert, auf der sich Flugzeuglabel auf vordefinierten Strecken bewegten. Der zweite Bildschirm diente der Interaktion und zeigte die Oberfläche des Multi-Touch-Interface mit der Liste der Flugzeuge. Der Versuch wurde mit sieben Probanden durchgeführt, die zu Beginn eine Erklärung des Versuchsaufbaus und eine Instruktion erhielten, wie der Versuch durchzuführen ist. Anschließend wurde das Programm durch den jeweiligen Versuchsteilnehmer gestartet. Nach einer dem Programm vorgegebenen Zeit wird eines der Flugzeuglabel in der Radarsimulation zufällig durch einen Rahmen hervorgehoben. Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer bestand darin, dass entsprechende Flugzeug schnellstmöglich aus der Liste auszuwählen. Das Programm wurde so geschrieben, dass die Zeit von dem Augenblick, in dem das Flugzeuglabel umrahmt wurde, bis zu dem Zeitpunkt, in dem das Richtige Flugzeug aus der Liste ausgewählt wurde gemessen wurde. Der Versuch wurde in drei Varianten durchgeführt. In der Variante A wurde der Versuch mit dem aktuellen Farbschema durchgeführt und stellt somit den Vergleichswert für die anderen Varianten da. In Variante B wurde die Farbe der Rahmen bei der Hervorhebung der Flugzeuglabel, von Weiß auf Gelb, geändert. Damit sollte überprüft werden, ob dem Fluglotsen durch eine gelbe Umrandung der Label, bei der Orientierung auf dem Bildschirm geholfen wird. Variante C beinhaltet das neue Farbschemakonzept für die Multi-Touch-Oberfläche. Um auszuschließen, dass Lerneffekte einen Einfluss auf die Ergebnisse des Versuchs haben, wurde die Auswahl der Flugzeuge zufällig generiert, die Reihenfolge der Flugzeuge in der Liste bei jedem Setting geändert und auch die Reihenfolge in denen die Probanden die Settings durchgeführt haben.

7.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse des Versuchs sind für die bessere Übersicht grafisch in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt. Wie der Abbildung 36 zu entnehmen ist, war die durchschnittliche Reaktionszeit aller Probanden, sowohl bei der gelben Umrandung der Label, als auch bei dem neu entwickelten Farbkonzept, kürzer als bei dem ursprünglichen Layout.

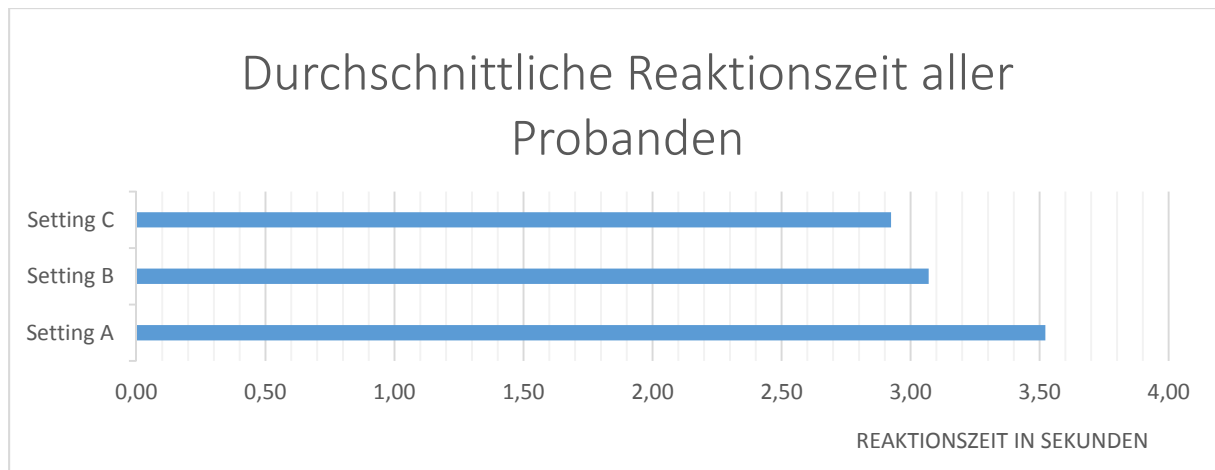


Abbildung 36: Grafische Darstellung der Versuchsdaten: Durchschnittliche Reaktionszeit aller Probanden

Bei der genaueren Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Versuchsteilnehmer sieht man, dass die Reaktionszeit von fünf Teilnehmern, für Setting B und C, erkennbar kürzer waren als für Setting A. Eine Abweichung hiervon ist bei Proband 1 und 3 zu erkennen. Bei Proband 1 war zwar die Reaktionszeit bei Setting C kürzer gegenüber der bei Setting A, jedoch verlangsamte sich die Reaktionszeit bei Setting B im Vergleich zu den anderen beiden. Bei Proband 3 ist kein bedeutender Unterschied, zwischen den drei Settings, festzustellen.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse aber für eine Annahme der oben aufgestellten Hypothesen. So kann durch das in 6.3 beschriebene visuelle Feedback der Fluglotse dabei unterstützt werden, sich schneller und besser auf dem Radarbildschirm zu orientieren. Das neu entwickelte Farbschemakonzept kann dazu beitragen, dass der Fluglotse die Flugzeuge schneller aus der Liste auswählen kann.

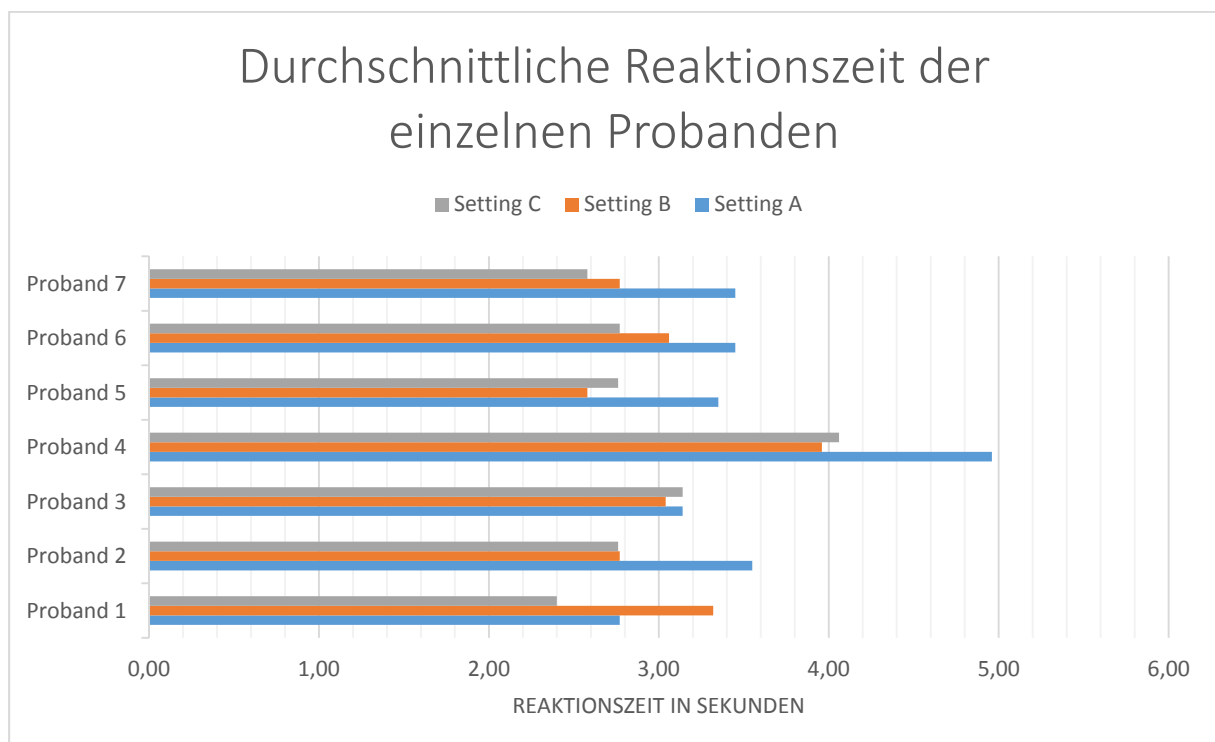


Abbildung 37: Grafische Darstellung der Versuchsdaten: Durchschnittliche Reaktionszeit der einzelnen Probanden

8. Schlusswort

Ziel dieser Bachelorarbeit war es die Gestensteuerung des multimodalen Fluglotsen-arbeitsplatzes im Projekt „MApControl“ zu bewerten und mögliche Optimierungs-ansätze zu erarbeiten, sowie ein geeignetes Farbschema des Multi-Touch-Interface zu entwickeln. Da in der Flugführung eine enge Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine notwendig ist, um einen sicheren und effizienten Luftverkehr zu ermöglichen, wurde der Mensch als Systembenutzer eng in den Prozess der Beurteilung und Optimierung einbezogen. Zur Beurteilung des aktuellen Systems wurde eine Nutzerstudie durchgeführt, um Stärken und Schwächen der Gestensteuerung zu analysieren. An einem Prototyp wurden die Experten gebeten, vorgegebene Szenarien durchzuführen. Die Studie bestand aus der Beobachtung des Nutzerverhaltens und einer anschließenden Befragung. Hierbei wurde deutlich, dass bei der Auslegung von Gesten für eine Multi-Touch-Eingabe, nicht nur darauf zu achten ist, dass die jeweilige Geste intuitiv ist, sondern gerade die physische Durchführbarkeit eine große Rolle für die praktische Anwendung spielt. Darüber hinaus war es Ziel der Untersuchung zu ermitteln, welche Anweisungen für den Fluglotsen bei seiner Arbeit relevant sind, um ein möglichst vollständiges Gesten-Set zu entwickeln. Eine weitere Erkenntnis der Beobachtung und der Befragung war, dass durch eine ergonomische Farbgestaltung der Mensch in seinem Arbeitsprozess unterstützt werden kann und somit zu einer Steigerung der Effizienz und Sicherheit beiträgt. Die Nutzerstudie kann als erfolgreich angesehen werden, da Usability Probleme erkannt wurden. Im nächsten Schritt wurden, für die zuvor gewonnen Erkenntnisse, Verbesserungsansätze entwickelt. Es wurden die Gesten, die bei der Untersuchung von den Fluglotsen negativ bewertet wurden, näher betrachtet und Alternativen vorgeschlagen.

Das Farbschema für das Multi-Touch-Display wurde, nach ergonomischen Gesichtspunkten, neu gestaltet und an bereits bestehende Vorgaben, wie das Radarbild, angepasst. Bevor eine Validierung des neuen Farbkonzeptes möglich war, musste ein Programm geschrieben werden, welches den Einfluss der Farbschemakonzepte auf die Reaktionszeit testen sollte. Die Ergebnisse des Versuchs sprachen für eine Annahme der zuvor aufgestellten Hypothesen.

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht, wie wichtig es ist, bei Arbeitsprozessen, die auf einer Interaktion zwischen Mensch und Computer basiert, die ergonomische Gestaltung in die Entwicklung mit einzubeziehen. Nur wenn das System auf die Bedürfnisse des Benutzers angepasst ist, kann gewährleistet werden, dass eine effiziente und sichere Anwendung möglich ist.

8.1 Ausblick

In Kombination mit den anderen Interaktionsmöglichkeiten, wie Spracherkennung und Eyetracking, bietet die Touch-Eingabe ein großes Potenzial für zukünftige Fluglotsen-arbeitsplätze. Die Benutzerstudie hat gezeigt, dass für ein vollständiges Gesten-Set mehr Anweisungen in Gesten umgesetzt werden müssen. Die Implementierung der Gesten-konzepte, sowie des vorgeschlagenen Farbschemas war im Rahmen dieser Arbeit nicht umsetzbar, empfiehlt sich aber als nächsten Schritt. Nach der Implementierung wäre es sinnvoll, eine erneute Evaluierung durchzuführen.

Die in 4.3 beschriebene subjektive Wahrnehmung könnte sich nach einer längeren Einarbeitung in das System ändern und müsste genauer untersucht werden.

Literaturverzeichnis

[Ahlheim 1989]. Karl-Heinz Ahlheim (1989). Schülerduden Die Physik. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG. Mannheim.

[BCM]. BCM Families Foundation. <http://www.blueconemonochromacy.org/de/how-the-eye-functions/>.

[BDL]. Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft. Zeitreise der deutschen Luftfahrt. www.bdl.aero/de/welt-der-luftfahrt/zeitstrahl-der-deutschen-luftfahrt/. 1.12.2015.

[Cardosi, Hannon 1999]. Kim Cardosi, Dan Hannon. 1999. Guidelines for the Use of Color in ATC Displays.

[Ciupka 2013]. Sandra Ciupka. 2013. transmission. Langen. www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/transmission-2-2013_Web.pdf. 05.01.2016.

[Deu12]. Deu12, LuftVG, §27c Abs. 1.

[DFS 2013]. dfs-azubiblog.de. 2013. Mein Arbeitsplatz im Center. www.dfs-azubiblog.de/2013/04/1053/#more-1053. 30.11.2015.

[DFS 2014]. Deutsche Flugsicherung. 2014. Mobilitätsbericht 2014. https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/Mobilitaetsbericht_2014_Web.pdf.

[DFS 2015]. Deutsche Flugsicherung. 2015. https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Unternehmen/%C3%9Cber%20uns/.

[DIN EN ISO 9241-11]. Deutsches Institut für Normung. Ergonomische Anforderung für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten.

[EN ISO 6385:2004]. Deutsches Institut für Normung. Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.

[Geyssel 2011]. Anna-Lotta Geyssel. 2011. Welt der Physik. <http://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/elektronische-geraete/touchpad-und-screen/>. 03.02.2016.

[Jauer 2015a]. Malte-Levin Jauer. 2015. Multi-Touch Korrektur.

[Jauer 2015b]. Malte-Levin Jauer. 2015. Exponat Multimodaler Lotsenarbeitsplatz.

[Jeppesen (Hg.)]. Jeppesen. Airport Information EDDT (Tegel). <http://www.pht-formation.fr/ops/SID%20STAR/EDDT%20-%20Berlin.pdf>. 07.01.2016.

[Klußmann, Malik 2012]. Niels Klußmann, Arnim Malik (2012). Lexikon der Luftfahrt. 3. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

[LMU]. Arbeitsgruppe Medieninformatik und Mensch-Maschine-Interaktion. Touch Screen Technologien. <https://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ws0607/mmi1/essays/Nihad-Zehic.xhtml>. 24.01.2016.

[M. Bhalla, A. Bhalla 2010]. Mudit Ratana Bhalla, Anand Vardhan Bhalla. 2010. Comparative Study of Various Touchscreen Technologies. Volume 6.

[Mensen 2014]. Heinrich Mensen (2014). Moderne Flugsicherung. 4. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

[Novacek 2003]. Paul Novacek. 2003. Design Displays.
<http://www.aea.net/AvionicsNews/ANArchives/DesignDisplayOct03.pdf>. 22.03.2016.

[Pavlovic, Sharma, Huang o.J.]. Vladimir I Pavlovic, Rajeev Sharma, Thomas S. Huang. Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.53.6402&rep=rep1&type=pdf>. 12.11.2015.

[Preim, Dachzelt 2010]. Bernhard Preim, Raimund Dachzelt (2010). Interaktive Systeme. 2. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.

[Preim, Dachzelt 2015]. Bernhard Preim, Raimund Dachzelt (2015). Interaktive Systeme. 2. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.

[Schmidt, Schlick 2008]. Ludger Schmidt; Christopher M. Schlick (2008). Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

[Spath, et al. 2010]. Dieter Spath, Anette Weisbecker (Hrsg.), Uwe Laufs, Micha Block, Jasmin Link, Antonino Ardilio, Andreas Schuller, Janina Bierkandt. 2010. Studie: Multi-Touch. Stuttgart.
<http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/studie-multi-touch-fraunhofer-iao.pdf>. 02.11.2015.

[Shive, Francis 2008]. J. Shive, G. Francis. 2008. Applying model of visual search to map display design. 66.

[StBA 2015a]. Statistisches Bundesamt. 2015. Publikationen im Bereich Luftverkehr.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Luftverkehr/Luftverkehr2080600151084.pdf?__blob=publicationFile. 27.10.2015.

[StBA 2015b]. Statistisches Bundesamt. 2015. Unternehmen und Arbeitsstätten. Wiesbaden.
www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UnternehmenHandwerk/Unternehmen/InformationstechnologieUnternehmen5529102157004.pdf?__blob=publicationFile.

[Timpe (Hg.), Jürgensohn, Kolrep 2002]. Klaus-Peter Timpe (Hrsg.), Thomas Jürgensohn, Harald Kolrep (2002). Mensch-Maschine-Systemtechnik. 2. Symposium Publishing. Düsseldorf.

[Tipler, Mosca, Wagner 2015]. Paul A.Tipler, Gene Mosca, Jenny Wagner (Hrsg.) (2015). Physik. 7. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

[Urbas, Ziegler, Pfeffer 2013/14]. L. Urbas, J. Ziegler, J. Pfeffer. 2013/14. User Interface Design 1. Dresden. www.et.tu-dresden.de/ifa/uploads/media/MMST_005-UI_Design_1_-_Gestaltung_von_Display_und_Eingabegeraeten.pdf. 12.01.2016.

[wacom b]. wacom. 2013. Cintiq 13HD Benutzerhandbuch.
http://www.wacom.eu/_bib_user/dealer/man_c13hd_de.pdf. 24.11.2015

[wacom c]. wacom. 2013. Cintiq 13HD Infoblatt.
http://www.wacom.eu/_bib_user/dealer/fac_c13hd_de.pdf. 24.11.2015.

[Xing 2006]. Jing Xing. 2006. Color and Visual Factors in ATC Displays. Oklahoma City.

[Zeiss 2006]. Marc Cyrus Vogel. 2006. Innovation. Carl Zeiss AG. Oberkochen.
http://www.zeiss.de/content/dam/Corporate/pressandmedia/downloads/innovation_ger_17.pdf.

Anhang A

Fragebogen zur Bewertung des Gestensteuerungskonzepts im Projekt „MApControl“

Sehr geehrte Damen und Herren,

In dem Projekt „MApControl“, am Fachgebiet Flugführung (Lotsenassistenz) des DLR Braunschweigs, geht es um das Thema multimodaler Eingabemethoden am Fluglotsenarbeitsplatz. Die Hauptinteraktion, zwischen Fluglotse und dem Verkehrsmanagementsystem geschieht über den „Active Listening Assistant“ (AcListant). Dieser überträgt die Anweisungen des Fluglotsen, nach der Bestätigung, automatische in das System. Für den Fall, dass eine Eingabe korrigiert oder nachträglich verändert werden muss, ist ein Multi-Touch-Interface vorgesehen.

Im Zuge meiner Bachelorarbeit beschäftige ich mich mit der Bewertung und Optimierung des Gestensteuerungskonzepts, für die Eingabe auf dem Multi-Touch-Interface. Da der Fluglotse als Anwender im Mittelpunkt des Designprozesses steht, ist mir Ihre ehrliche Einschätzung wichtig.

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung bereits integrierter Gesten und neuen Gestenkonzepten zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten.

Setzen Sie pro Frage bitte nur ein Kreuz. Sollten Sie ein Kreuz falsch gesetzt haben oder sich noch einmal um entscheiden wollen, so füllen Sie das falsche Kästchen vollständig aus und Kreuzen das richtige Kästchen an.

Beispiel: ☐ ☒

Bei einigen Fragen gibt es, neben der Ankreuzmöglichkeit, ein Feld für Freitext, wo Sie Anmerkungen notieren können.

Allgemein

Sind Sie ☐ Linkshänder oder
☐ Rechtshänder

Haben Sie vorher schon einmal mit dem Multi-Touch-Interface gearbeitet? Ja ☐ Nein ☐

Haben Sie bei der Eingabe von Gesten bestimmte Finger bevorzugt eingesetzt?

☐ Ja und zwar Folgende:

☐ Nein

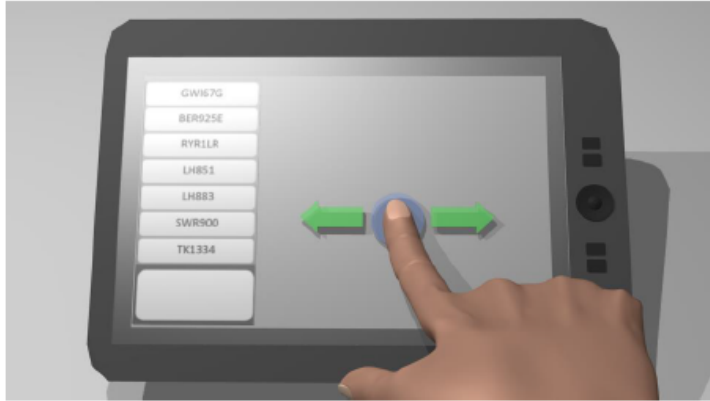
Wie haben Sie Ihre Eingaben bevorzugt bestätigt? Über:

☐ Touchscreen (rotes und grünes Feld), wenn ja warum?

☐ Knöpfe am Rand, wenn ja warum?

Beurteilung der einzelnen Gesten

Bitte bewerten Sie folgende Aussage:
„Die Geste ist ...“



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

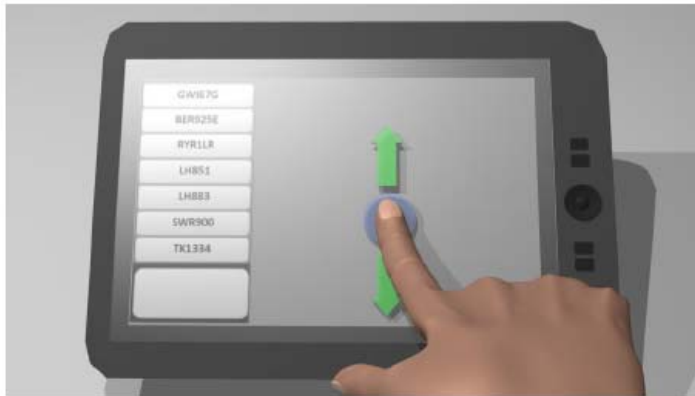
stimme
eher zu

stimme
zu

Horizontale Bewegung des Fingers, zur Veränderung der Speed-Anweisung

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:

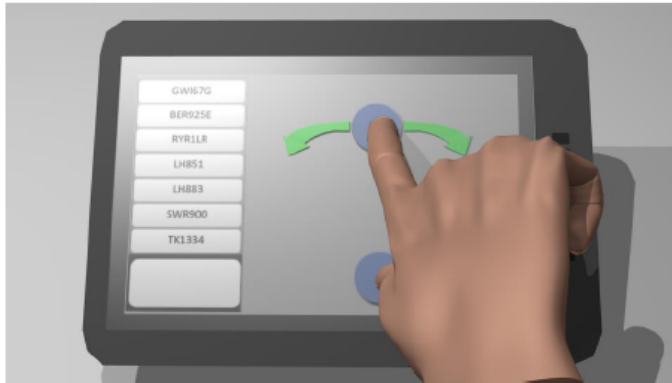


stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
--------------------	----------------------------	-------------------	--------------

Vertikale Bewegung des Fingers, zur Veränderung der Altitude-Anweisung

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

stimme
eher zu

stimme
zu

Rotation des Zeigefingers um den Daumen, zur Veränderung der Heading-Anweisung

1	leicht zu erlernen	①	②	③	④
2	intuitiv	①	②	③	④
3	passend	①	②	③	④
4	von der Bewegung her umständlich	①	②	③	④
5	zeitintensiv	①	②	③	④
6	gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten.....	①	②	③	④

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

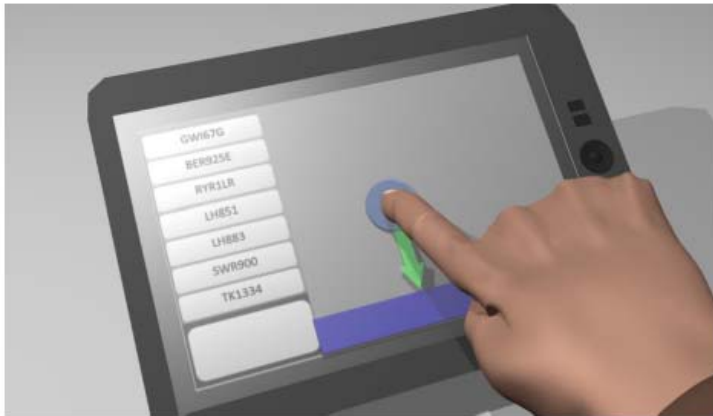
stimme
eher zu

stimme
zu

Flugzeuge Auswählen mit zwei Fingern, zur Messung des Abstands zwischen zwei Flugzeugen

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

stimme
eher zu

stimme
zu

Mit einem Finger zum unteren Bildschirmrand wischen, um Eintrag oder Anweisung zu löschen.

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

stimme
eher zu

stimme
zu

Finger eine Sekunde auf dem Touchscreen liegen lassen und anschließende Auswahl eines Waypoints. (Direct to Waypoint)

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:

Bitte bewerten Sie folgende Aussage:
„Ich halte die Etablierung einer Geste für die
Aufgabe... für sinnvoll.“

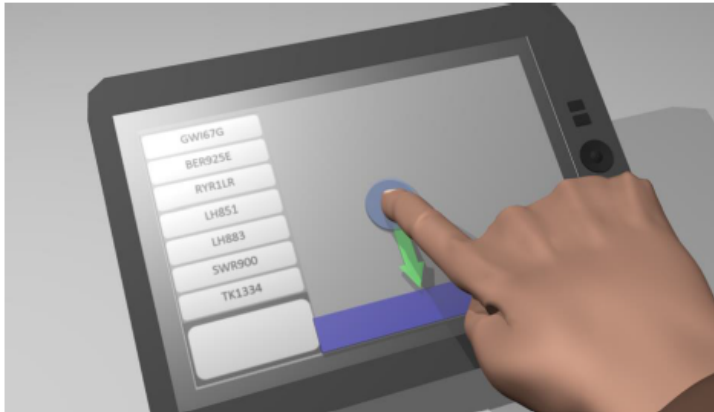
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
Name der Aufgabe				
Speed-Anweisung	①	②	③	④
Altitude-Anweisung	①	②	③	④
Heading-Anweisung	①	②	③	④
Distanz zwischen LFZ ermitteln.....	①	②	③	④
Übergabe an Tower	①	②	③	④
Direct to Waypoint	①	②	③	④
Rate of Descent/Climb.....	①	②	③	④
Cleared ILS.....	①	②	③	④
Rein/Raus-Zoomen	①	②	③	④
Karte verschieben.....	①	②	③	④
Holding/ Leave Holding	①	②	③	④
Go-Around	①	②	③	④

Vorschläge für weitere Anweisungen/Aufgabe, die über Gesten in das System eingegeben werden könnten:

Bewertung von möglichen Gesten

Bitte bewerten Sie folgende Aussage:

„Die Geste ist ...“



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

stimme
eher zu

stimme
zu

Mit einem Finger einen waagerechten Strich, von links nach rechts, der am Ende nach oben geführt wird. (go-around)

1	leicht zu erlernen	①	②	③	④
2	intuitiv	①	②	③	④
3	passend	①	②	③	④
4	von der Bewegung her umständlich	①	②	③	④
5	zeitintensiv	①	②	③	④
6	gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten.....	①	②	③	④

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

stimme
eher zu

stimme
zu

Vertikale Bewegung mit zwei Fingern, zur Veränderung der Steig- und Sinkrate (rate of descent/climb)

- | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|
| 1 | leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 | intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 | passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 | von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 | zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 | gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme
nicht zu

stimme
eher
nicht zu

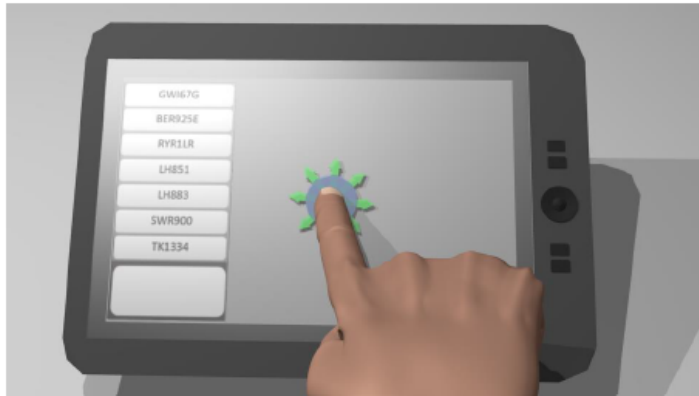
stimme
eher zu

stimme
zu

**Zwei Finger eine Sekunde auf dem Touchscreen liegen lassen
und anschließende Auswahl eines FIX. (Holding)**

1	leicht zu erlernen	①	②	③	④
2	intuitiv	①	②	③	④
3	passend	①	②	③	④
4	von der Bewegung her umständlich	①	②	③	④
5	zeitintensiv	①	②	③	④
6	gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten.....	①	②	③	④

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:



stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
--------------------	----------------------------	-------------------	--------------

**Zwei Finger eine Sekunde auf dem Touchscreen liegen lassen
und anschließend zum unteren Bildschirmrand führen.
(leave holding)**

- | | | | | |
|--|---|---|---|---|
| 1 leicht zu erlernen | ① | ② | ③ | ④ |
| 2 intuitiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 3 passend | ① | ② | ③ | ④ |
| 4 von der Bewegung her umständlich | ① | ② | ③ | ④ |
| 5 zeitintensiv | ① | ② | ③ | ④ |
| 6 gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten..... | ① | ② | ③ | ④ |

Verbesserungsvorschlag, Anmerkung oder Alternative:

Abschluss

Welche zusätzlichen Funktionen, oder Gesten würden Sie sich, bezüglich des Umgangs mit dem Multi-Touch-Interface wünschen?

Welche Vor-/Nachteile sehen Sie?

Weitere Anmerkungen:

Vielen Dank für Ihre Teilnahme

Anhang B

Benutzerstudie Versuchsprotokoll

Benutzerstudie Gestensteuerung: 07.-09.12.2015 07.12.2015 Fluglotse 1
Beobachtung:
<ul style="list-style-type: none">- Haltung der Hand: Daumen die meiste Zeit über der grünen Bestätigungsfläche, restliche Hand am Rand über den Knöpfen- Label von Entfernungsanzeige verdeckt -> Geste um Label zu verschieben- Schwierigkeiten bei der Auswahl der Flugzeuge für die Abstandsmessung- Fluglotse L1 vergisst mehrmals die Bestätigung der Eingaben- Bestätigung wird ein paarmal nicht erkannt<ul style="list-style-type: none">➔ Feedback nach Bestätigung, wäre sinnvoll- Widget Positionierung hängt von der Berührung auf dem Touchscreen ab<ul style="list-style-type: none">➔ Besser wäre, wenn es in der Nähe des ausgewählten Flugzeugs erscheinen würde.- Drehbewegung für Heading-Anweisung bereitet Schwierigkeiten
Kommentar des Fluglotsen:
<ul style="list-style-type: none">- Fluglotse L1 merkt an, dass es hilfreich wäre, das zuletzt angesprochene Flugzeug ausgewählt zu lassen<ul style="list-style-type: none">➔ Orientierung in Flugzeugliste fällt schwer, benötigt zu viel Zeit➔ Wenn das Flugzeug nicht ausgewählt werden kann, können auch keine Anweisungen getätigt werden- Vorschlag für die Geste zur Distanzmessung zwischen zwei Flugzeugen:<ul style="list-style-type: none">➔ Flugzeuge, wie bei der Maus, nacheinander auswählen
Benutzerstudie Gestensteuerung: 07.-09.12.2015 07.12.2015 Fluglotse 2
Beobachtung:
<ul style="list-style-type: none">- Geste für die Distanzmessung zwischen Flugzeugen bereitet Schwierigkeiten- Längste Headdown-Zeit bei der Auswahl des Flugzeuges aus der Liste
Kommentar des Fluglotsen:

- Vorschlag für die Geste zur Distanzmessung zwischen zwei Flugzeugen:
➔ Beide Flugzeuge aus der Liste Auswählen
- Anmerkung des Fluglotsen L2: Die Knöpfe am Rand sind zu klein und liegen zu dicht beieinander

Benutzerstudie Gestensteuerung: 07.-09.12.2015
08.12.2015 Fluglotse 3

Beobachtung:

- Schwierigkeiten bei der Eingabe des Headings
➔ Eingeschränkter Radius
- Neben der Bestätigung ist die Distanzmessung die meist benutzte Geste
- Bei Auswahl über das Multi-Touch, werden die Flugzeuge auf dem Radarbildschirm nicht markiert und die vierte Zeile im Labe mit Informationen zum Flugzeug wird nicht angezeigt

Kommentar des Fluglotsen:

Benutzerstudie Gestensteuerung: 07.-09.12.2015
08.12.2015 Fluglotse 4

Beobachtung:

- Schwierigkeiten mit Heading-Geste
➔ Heading-Eingaben werden vernachlässigt
- Bemerkung: Wenn die Heading-Geste bis zum untersten Wert gezogen wird, hängt das Widget und es kann kein höherer Wert ausgewählt werden

Kommentar des Fluglotsen:



Anhang C

Auswertung der Fragebögen der Nutzerstudie

Speed-Anweisung				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen		1	1	2
intuitiv			3	1
passend			3	1
von der Bewegung her nicht umständlich			4	
nicht zeitintensiv	2		2	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			3	1
Altitude-Anweisung				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen		1	1	2
intuitiv			2	2
passend			3	1
von der Bewegung her nicht umständlich	1	1	2	
nicht zeitintensiv	2	1	1	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			2	2
Heading-Anweisung				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1	2	1	
intuitiv		1	3	
passend		3	1	
von der Bewegung her nicht umständlich	4			
nicht zeitintensiv	2	1	1	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten		1	3	
Distanz-Measuring				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	2		1	1
intuitiv	1	1	2	
passend	1	1	2	
von der Bewegung her nicht umständlich	2	1	1	
nicht zeitintensiv	2	1	1	

gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			4	
Löschen				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		3	
intuitiv		3	1	
passend		4		
von der Bewegung her nicht umständlich	1		2	1
nicht zeitintensiv	1	1	1	1
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			4	
Direct to Waypoint				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		3	
intuitiv		1	3	
passend			4	
von der Bewegung her nicht umständlich	1	1	2	
zeitintensiv	2	1	1	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			4	
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
Speed-Anweisung			1	3
Altitude-Anweisung		1		3
Heading-Anweisung	1		1	2
Distanz-Measuring	1		2	1
Übergabe an Tower		1	1	2
Direct to Waypoint		2	1	1
Rate of Descent/Climb	1	1	1	1
Cleared ILS		1	1	2
Rein/Raus-Zoomen		2	1	1
Karte verschieben		2	1	1
Holding/Leave Holding		2	1	1
Go-Around		2		2
Go-Around-Anweisung				

z	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		3	
intuitiv	1	1	2	
passend	1	1	2	
von der Bewegung her nicht umständlich		1	2	1
nicht zeitintensiv	1		2	1
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten			4	
Rate of Descent/Climb-Anweisung				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		3	
intuitiv			4	
passend			4	
von der Bewegung her nicht umständlich	1	1	2	
nicht zeitintensiv	2		2	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten		1	3	
Holding-Anweisung				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		3	
intuitiv		2	2	
passend		2	2	
von der Bewegung her nicht umständlich	1	1	2	
nicht zeitintensiv	2	1	1	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten	1	1	2	
Leave Holding				
	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu
leicht zu erlernen	1		2	
intuitiv		2	1	
passend	1	1	1	
von der Bewegung her nicht umständlich	1		2	
nicht zeitintensiv	2		1	
gut zu unterscheiden, zu anderen Gesten		1	2	

Anhang D

Beiliegende CD-Rom

Die CD beinhaltet folgende Dateien:

- Die Bachelorarbeit als PDF-Datei (*Bachelorarbeit Lino Lindner.pdf*)
- Den Fragebogen als PDF-Datei (*Fragebogen.pdf*)
- Das Programm für die Validierung des Farbschemas als zip-Datei inklusive des Quellcode (*Validierungsprogramm.zip*)
- Beispielvideo eines Validierungsdurchganges (*Video des Validierungsablaufs.*)